Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Heinrich Harms

Normwerte und Seitendifferenzen der Pulsanstiegszeit der Arteria ophthalmica

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans Peter Knaus
aus Sulz a. N.

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0056

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Heinrich Harms

Normwerte und Seitendifferenzen der Pulsanstiegszeit der Arteria ophthalmica

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans Peter Knaus
aus Sulz a. N.

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. med. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Professor Dr. med. H. Hager
2. Berichterstatter: Professor Dr. med. H. Harms

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

Meinen Eltern gewidmet

Herrn Prof. Dr. Harms bin ich zu
großem Dank verpflichtet, daß ich
in seiner Klinik arbeiten durfte.

Herrn Prof. Dr. Hager danke ich für die
Überlassung des Themas. Für seine liebens-
würdige Unterstützung bei der Ausführung
der Arbeit bin ich ihm zu besonderem
Dank verpflichtet.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung und Problemstellung.....	1
II.	Untersuchungs- und Auswertungsmethode.....	4
III.	Bestimmung der Pulsanstiegszeit (PAZ) und des Quotienten ($\frac{h}{t}$).....	8
IV.	Verschiedene Formen der Pulskurven.....	10
V.	Allgemein gültige statistische Auswertung der Ergebnisse.....	16
VI.	Untersuchter Personenkreis.....	18
VII.	Untersuchungsgang.....	19
VIII.	Spezielle Einteilung der Ergebnisse.....	22
IX.	Auswertung der Ergebnisse.....	25
X.	Darstellung einiger pathologischer Fälle.....	28
XI.	Zusammenfassung und kritische Beurteilung der Ergebnisse.....	37
XII.	Tabellen und Schaubilder.....	41
XIII.	Literaturverzeichnis.....	53

I. Einleitung und Problemstellung

Die Ophthalmodynamographie ist eine von HAGER entwickelte Untersuchungsmethode, mit der man auf unblutige, objektive Weise einzelne Kreislaufgrößen im Bereich der Arteria ophthalmica und damit im Gehirn erfassen kann. Ihre klinische Bedeutung als Methode zur Bestimmung des Ophthalmicadruckes und der Pulswellengeschwindigkeit in der Arteria carotis interna haben HAGER und KLEIN ausführlich dargestellt. Außerdem stellten LINK, SCHOCK und HORCH (14) Normwerte des Ophthalmicadruckes in Relation zum Oberarmblutdruck auf. SEITZ (29) errechnete Normwerte und noch zulässige Seitendifferenzen des Pulsationsvolumens. Ferner untersuchte er die Relation zwischen Mitteldruck, Blutdruckamplitude und Pulsationsvolumen. Mit Hilfe der Bestimmung der oben genannten Kreislaufgrößen, und vor allem bei dem Vergleich der rechten und linken Seite bzw. der Differenz zwischen Ophthalmicadruck und Brachialisdruck, ist es nun möglich, Aussagen über einen krankhaften Prozess im Bereich der Hirnstrombahn zu machen.

Das wichtigste Gebiet der Ophthalmodynamographie ist die Feststellung von Stenosen bzw. Verschlüssen an den großen, dem Gehirn Blut zuführenden Gefäßen. Diese früher nur mit Hilfe der Angiographie diagnostizierbaren Veränderungen können mit der Ophthalmodynamographie erfasst werden. Die Vorteile gegenüber der Arteriographie sind folgende:

1) Die Untersuchung ist gefahrlos und relativ schmerzlos für den Patienten. Bei der Angiographie kann es, zwar nicht häufig, aber doch zu schwerwiegenden Zwischenfällen kommen.

2) Die Messung ist beliebig oft wiederholbar.

3) Auch Stenosen herzwärts von der üblichen Einstichstelle der Carotisangiographie können erfasst werden, so z.B. Prozesse am Aortenbogen.

4) Während der Operation eines Carotisverschlusses (z.B. Thrombektomie) kann die wiederhergestellte Durchgängigkeit geprüft werden.

Ein weiteres diagnostisches Hilfsmittel, um pathologische Veränderungen im arteriellen cerebralen Kreislauf zu verifizieren, ist die Aufzeichnung des Bulbus-Orbitapulses bei konstantem Druck und bei einer Papiervorschubgeschwindigkeit von 50 mm/sec. BRECHT und BARBEY (3) konnten an Hand von Pulsschreibungen an Extremitätenarterien zeigen, daß diese bei Stenosen charakteristische Veränderungen aufweisen. Sie haben folgende Änderungen beschrieben:

1) Die Pulskurve trifft im Vergleich zur Gegenseite verspätet ein.

2) Der Gipfel der Kurve wird runder, und eine vorhandene Dicrotie verstreicht.

3) Die Amplitude der Pulsation nimmt ab.

Die Veränderungen der Pulsform beruhen auf einer Dämpfung der Pulsation durch die Stenose.

Es wurde mir die Aufgabe gestellt, Normwerte der sogenannten Pulsanstiegszeit (PAZ) und des Quotienten $\frac{h}{t}$ (siehe unten) sowie die Grenzen für die noch zulässigen Seitendifferenzen zwischen dem rechten und dem linken Auge zu bestimmen. Ferner soll an Hand einiger pathologischer Fälle (z.B. Stenosen, Aneurysma) geprüft werden, ob sich obige Veränderungen auch an dem Bulbus-Orbitapuls ausprägen. Schließlich soll untersucht werden, ob eine Abhängigkeit besteht zwischen

1) mittlerem Blutdruck (Pm) und Pulsanstiegszeit (PAZ_{70})

2) mittlerem Blutdruck (Pm) und dem Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$

3) Blutdruckamplitude (P_A) und Pulsanstiegszeit (PAZ_{70})

4) Blutdruckamplitude (P_A) und dem Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$

5) Herzfrequenz (ν) und Pulsanstiegszeit (PAZ)

6) Alter der Patienten und Pulsanstiegszeit (PAZ_{70})

7) Zwischen Pulsationsvolumen (PV) und dem Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$

Es sei hier ausdrücklich darauf hingewiesen, daß es sich bei unserer Methode um keine echte Pulsschreibung handelt. Dazu müßte der Pulsabnehmer senkrecht zur Arterienwand stehen und dieser zentral anliegen. Dies ist wegen der anatomischen Verhältnisse am Auge nicht möglich. Registriert werden die Oscillationen des gesamten Orbitainhaltes mitsamt dem Bulbus, hervorgerufen durch den Bluteinstrom über die Arteria ophthalmica. Die Blutzufuhr in das Orbitagewebe durch andere von der Arteria carotis externa stammende Arterien ist gering, da diese meist über den Orbitarand ziehenden Arterien durch die Pulskapsel abgedrückt sind (HAGER).

II. Untersuchungs- und Auswertungsmethode

Bei der Ophthalmodynamographie ist das Prinzip der Oscillographie auf das Auge übertragen und somit die Möglichkeit geschaffen, ein Oscillogramm des Bulbus- Orbitapulses graphisch aufzuzeichnen. Die Einzelheiten der Methode sind von HAGER (15) ausführlich beschrieben worden. Es kann deshalb darauf verwiesen werden. Neu ist die Anlage der Augenpulskapsel an die knöchernen Orbitalbögen mit Hilfe eines Stahlbandes, an dem ein gewünschter Anlagedruck eingestellt werden kann. Unsere Untersuchungen führten wir mit einem Anlagedruck von 2 - 2,5 kg durch. Abweichend von der üblichen Registrierung eines Ophthalmodynamogrammes sind die Bulbusoscillationen bei einer Papiervorschubgeschwindigkeit von 50 mm/sec und bei konstantem Druck im pneumatischen System aufgezeichnet. Der Druck wurde so gewählt, daß er gering unter dem diastolischen Wert lag. Dieser Kompressionsdruck gewährleistet eine gute Übertragung der Druck- Volumenschwankungen des Bulbus-Orbitagewebes. Die Oscillationen werden in einem Infratonsystem nach BOUCKE-BRECHT (5) in Wechselspannungen umgewandelt und auf ein EKG-Gerät zur Registrierung übertragen. Im Bereich des diastolischen Druckes sind die Oscillationen am größten. Da aber der Blutsruck während der Messung nie völlig konstant bleibt, blieben wir 10 mm Hg unter dem diastolischen Druck. Dadurch war verhindert, daß bei Blutdruckabfall, wenn er nicht mehr als 10 mm Hg betrug, die Pulskurve an ihrer Basis abgeschnitten wurde.

In den nachfolgenden Abbildungen, 1a - c werden folgende Abkürzungen benützt. (Genaue Beschreibung und Berechnung der einzelnen Größen s. Kap. III).

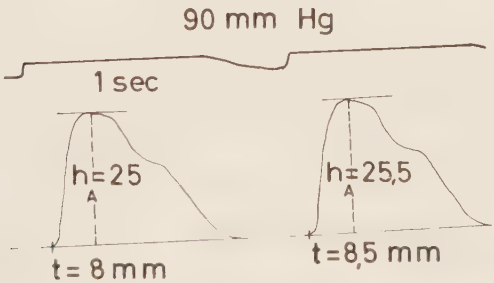
x (mm Hg)	Kompressionsdruck des Ballons
h_A (mm)	Pulsamplitude
t (mm)	Strecke vom Beginn des Pulskurvenanstiegs bis zum Fußpunkt des höchsten Punktes der Pulskurve

PAZ (sec)	Zeit die verstreicht, bis der höchste Punkt der Pulskurve erreicht ist = Pulsanstiegszeit
$\bar{h}$ (mm)	Mittelwert aus h_A
h (mm)	Auf eine einheitliche Eichzackenhöhe von 10 mm umgerechneten $\bar{h}$
$\frac{h}{t}$	Quotient aus h und t

---

* Anmerkung: Die auf Millimeterpapier geschriebenen Originalpulskurven wurden zur besseren Darstellung auf eine durchsichtige Folie mit Tusche nachgezeichnet.

Abb. 1a

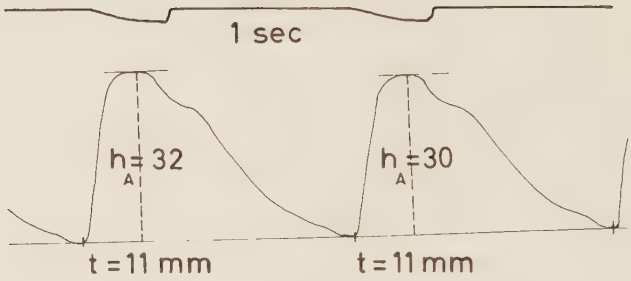


t = 8,25 mm
PAZ = 0,165 sec

$\bar{h}$ = 25,25 mm
h = 21,2 mm

$\frac{h}{t}$ = 2,57

Abb. 1b 80 mm Hg

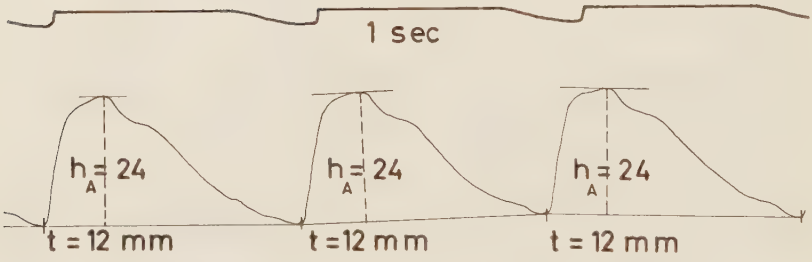


t = 11 mm
PAZ = 0,22 sec

$\bar{h}$ = 31 mm
h = 25,8 mm

$\frac{h}{t}$ = 2,35

Abb. 1c 70 mm Hg



t = 12 mm
PAZ = 0,24 sec

$\bar{h}$ = 24 mm
h = 19,2 mm

$\frac{h}{t}$ = 1,60

Abb. 1a - c:
Ableitung der Pulskurven bei verschiedenem Kompressionsdruck.
1a: 10 mm Hg über dem diastolischen Druck.
1b: bei diastolischem Druck.
1c: 10 mm Hg unter dem diastolischen Druck
Die Pulsanstiegszeit (PAZ) verkürzt sich mit steigendem Kompressionsdruck. Die Amplitude h_A ist am höchsten, wenn der Kompressionsdruck des Ballons gleich dem diastolischen Blutdruck ist. (Näheres s. Text)

Die Abbildungen 1a - c zeigen, wie der Kompressionsdruck des Ballons, bei dem die Oscillationen registriert werden, auf die Pulsamplitude (h_A) und auf die Pulsanstiegszeit (PAZ) einwirkt. Die obigen Kurven wurden von einem 24-jährigen kreislaufgesunden Mann hintereinander an einem Auge abgeleitet. Wir registrierten bei einem Druck von 10 mm Hg über dem diastolischen Wert (1a), bei diastolischem Druck (1b) und 10 mm Hg unter dem diastolischen Druck (1c). Man sieht, daß bei supradiastolischem Druck (1a) die Pulsanstiegszeit (PAZ) gegenüber der Registrierung bei einem subdiastolischen Druck (1c) verkürzt ist. Die Pulsamplitude (h_A) bleibt annähernd gleich, da die Kurve unten abgeschnitten ist. Bei diastolischem Druck ist die Pulsamplitude (h_A) am größten. Die Pulsanstiegszeit (PAZ) ist etwas kürzer als bei 1c. Die Ursache dafür liegt wahrscheinlich in der besseren Ankopplung. Weiterhin ist zu erwähnen, daß die Pulsamplitude (h_A) bei fallendem Druck im pneumatischen System nicht bei allen Versuchspersonen gleichmäßig abnimmt. Erfahrungsgemäß nimmt die Pulsamplitude bei jungen Menschen mit elastischen Gefäßen rascher ab, als bei alten Leuten mit starren, arteriosklerotisch veränderten Arterien. Es ist also wichtig, bei Vergleichsuntersuchungen immer in einem gleichen Druckbereich, nämlich 10 mm Hg unter dem diastolischen Blutdruckwert den Puls zu registrieren. Nur dann sind vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

III. Bestimmung der Pulsanstiegszeit (PAZ) und des Quotienten $\frac{h}{t}$

Abb. 2

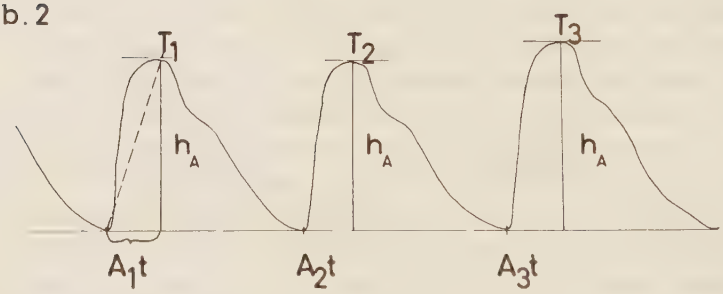


Abb. 2: Darstellung der Bestimmung der Pulsanstiegszeit (PAZ) und des Quotienten $\frac{h}{t}$

Wir gingen folgendermaßen vor:

1) Der tiefste Punkt zwischen 2 Pulskurven wird als Anstiegsbeginn der nachfolgenden Pulsation genommen. (Punkt A1, A2, A3 .....)
2) Ziehe $\overline{A1A2}$, $\overline{A2A3}$.....
3) Parallele zu $\overline{A1A2}$ derart, daß sie zur Tangente an der Pulskurve wird. (T1, T2,....) T ist nun der höchste Punkt der Pulskurve. Die Zeit bis T erreicht wird bezeichnen wir als Pulsanstiegszeit (PAZ). Sie errechnet sich folgendermaßen:

a) Die Strecke von A1 bis zum Fußpunkt von T1 nennen wir t.

b) Die Vorschubgeschwindigkeit des Registriergerätes beträgt v = 50 mm/sec.
Somit beträgt die PAZ = $\frac{t}{v}$ sec

Der Quotient $\frac{h}{t}$ errechnet sich folgendermaßen:

1) Von 3 Pulskurven messen wir jeweils die Amplitude h_A
2) Daraus errechnet sich der Mittelwert $\bar{h}$
3) Der Mittelwert $\bar{h}$ wird auf eine Eichzackenhöhe von 10 mm umgerechnet. Diesen Wert nennen wir h.
4) Der Quotient $\frac{h}{t}$ ist also ein Maß für die mittlere Steigung der Pulskurve im ansteigenden Schenkel. In Abb. 2 wird diese durch die Steigung der Strecke $\overline{A_1T_1}$ dargestellt.

IV. Verschiedene Formen der Pulskurven

Abb. 3

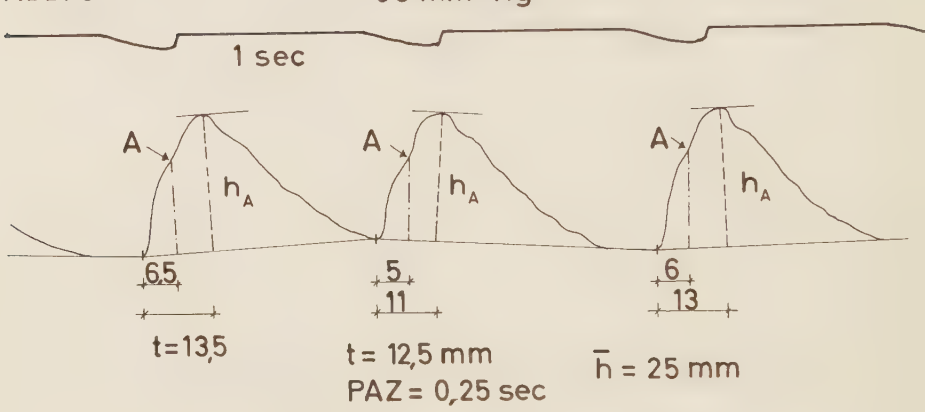


Abb. 3:
Pulskurve eines 14-jährigen Jungen, bei einem Kompressionsdruck von 65 mm Hg registriert. Deutliche Einkerbung bei Punkt A.

Abb. 4

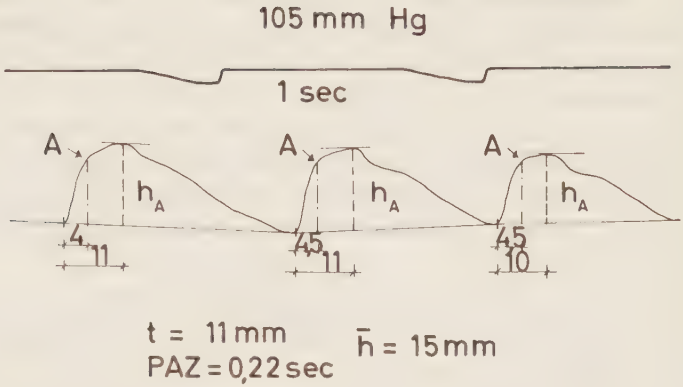


Abb. 4:
Pulskurve einer 62-jährigen Frau, bei einem Kompressionsdruck von 105 mm Hg registriert. Deutlicher "Knick" bei Punkt A.

Abb. 5

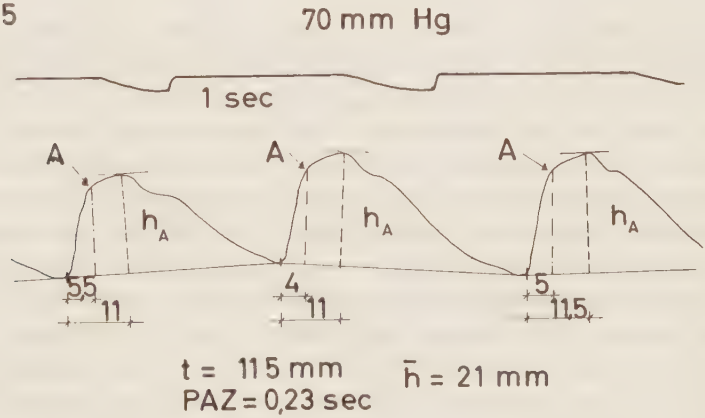


Abb. 5:
Pulskurve eines 25-jährigen Mannes, bei einem Kompressionsdruck von 70 mm Hg registriert. Auch hier plötzlicher Wechsel der Anstiegssteilheit bei Punkt A.

Bei der Betrachtung des aufsteigenden Schenkels unserer Pulskurve fällt auf, daß sich bei Punkt A die Anstiegssteilheit stark verändert. Man kann dies im Sinne einer Einkerbung im aufsteigenden Schenkel auffassen, oder die Erscheinung so erklären, daß es sich hier um einen erneuten Pulsanstieg handelt. Um eine Erklärung für diese Beobachtung zu finden, muß man sich klar darüber werden, welche Teilkomponenten die Gesamtpulswelle aufbauen. Dies sind nach RECKLINGHAUSEN (27) folgende:

1) Primäre, d.h. vom Herzen ausgehende Wellen, und zwar zunächst die sogenannte große primäre Hauptwelle; sodann die 4 kleinen primären Beiwellen.

2) Sekundäre Wellen, d.h. Wellen die aus der primären Welle durch Rückprall in der Peripherie entstehen. Sie treten zunächst als lokale massierte Rückprallwellen auf, erfahren dann Umbildungen gemäß dem Gesetz von der ausgleichenden Wellenverteilung und verwandeln sich in das sogenannte Gewoge, in dem sie sich begegnen und ausgleichen. Alle diese Elemente überlagern sich, ihre Summe macht die Höhe der Gesamtpulswelle aus. Die erste Ursache alles Pulsgeschehens ist die vom Herzen in die Aorta ausgeworfene große primäre Hauptwelle. Je nach Arbeitsweise des Herzens ist diese verschieden. Die Ausbildung der großen primären Hauptwelle hängt wiederum ab von der des Gewoges, auf das sie sich aufbaut, und das auch auf die Herztätigkeit einwirkt, indem es dem Auswerfen des Herzinhaltes bald größeren bald geringeren Widerstand entgegensetzt. Arbeitsweise des Herzens und Gewoge sind also verantwortlich für die Form der Pulswelle. Das Gewoge erreicht gegen Ende der Systole bereits seinen Höhepunkt. Die sog. große primäre Hauptwelle setzt sich also auf das Gewogeniveau auf, und zu dem Druck und dem Volumen der Welle addiert sich Druck und Volumen des Gewoges derart, daß der Gesamtdruck der Welle gleichbleibt, trotzdem die Auswurfmenge in der Zeiteinheit ständig abnimmt. Hydraulisch gesehen ist also die Entwicklung des Gewoges Mitursache und Mitbedingung für die Entstehung des Plateaus. (Plateau: Zeit zwischen systolischem Anstieg und systolischem Abfall. Der Druck bleibt aber in diesem Bereich nicht genau gleich, sondern

ändert sich geringfügig. Trotzdem kann man annähernd von einem Plateau sprechen).

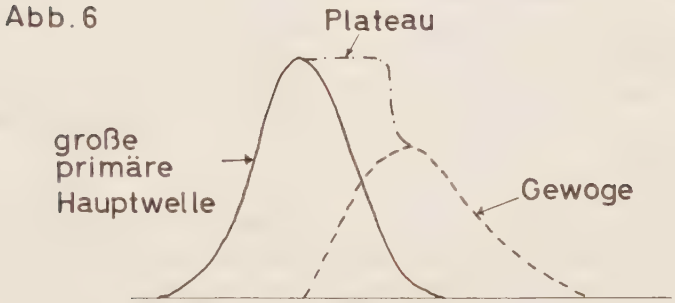


Abb. 6:
Erläuterungen über das Zustandekommen des Plateaus einer zentralen Pulskurve. Das Plateau entsteht durch Addition der Pulsamplitude der großen primären Hauptwelle und dem Niveau des Gewoges. (Näheres siehe Text).

Die oben geschilderte Grundform wird nun doch durch die 4 sog. primären Beiwellen verändert (s. von RECKLINGHAUSEN H., Blutdruckmessung und Kreislauf in den Arterien des Menschen). Die o.a. Erklärungen gelten für das Zustandekommen der Pulswelle in der Aorta.

Für das Auftreten der Einkerbung bei Punkt A am aufsteigenden Schenkel der Pulskurve gibt es verschiedene Erklärungsversuche.

1. Möglichkeit:

Das Plateau der Aortenpulskurve verläuft bei ungehindertem Abfluß nahezu horizontal. Wird nun der Blutabstrom aus der Arteria ophthalmica gehemmt, so fließt am Ende der Systole mehr Blut in das Arterienlumen ein, als Blut abfließt. Dasselbe tritt bei vermehrtem Blutzufluß zur Arteria ophthalmica ein. (z.B. durch aktive Kontraktion der Aorta). Die Folge ist eine weitere Volumenzunahme und damit eine ansteigende, eine anakrote Gipfellinie.

2. Möglichkeit:
Es wäre auch denkbar, daß sich eine, aus der Peripherie reflektierte Welle, der primären großen Hauptwelle aufpfropft, und somit obiges Bild zustande käme. Allerdings machte HAGER die Erfahrung, daß sich bei Änderung der Reflektionsverhältnisse im Gefäßsystem (z.B. hervorgerufen durch gefäßerweiternde Pharmaka) die Pulsformveränderungen sich vor allem im abfallenden Schenkel der Pulskurve zeigen.
3. Möglichkeit:
Es wäre denkbar, daß es sich bei der Einkerbung im aufsteigenden Schenkel um die sog. 3. Beiwelle nach RECKLINGHAUSEN (27) handelt.
4. Möglichkeit:
Vielleicht handelt es sich bei dem systolischen Druckzuwachs um eine aktive Beteiligung der Arterienwand an der Pulsation, wie sie HÜRTHLE (11) an peripheren muskulären Arterien glaubte nachweisen zu können.

Résumée

Eine sichere Erklärung für die Einsenkung bzw. die "Schulter" im ansteigenden Schenkel der Pulskurve können wir nicht geben. Es bleibt außerdem die Frage offen, ob es sich bei der Zeit, die bis zum Erreichen des Punktes A verstreicht, nicht um die Zeit handelt, welche JUNGMANN und GADERMANN (11) als "Gipfelzeit" bezeichneten. Sie beträgt in peripheren Arterien 0,11 sec - 0,18 sec. Die Zeit, die bis zum Erreichen unseres Punktes A des Ophthalmicapulses verstreicht, liegt etwa bei 0,09 sec - 0,13 sec (s. Abb. 3 - 8). Diese zeitliche Übereinstimmung könnte unsere Vermutung unterstützen, daß es sich bei dieser Zeit um die Gipfelzeit nach JUNGMANN und GADERMANN (11) handelt. Die Zeit, die bis zum Erreichen von Punkt A verstreicht, wird wahrscheinlich von der Funktionstüchtigkeit des Herzens und von einer evtl. Stenose im Bereich der Aortenklappen beeinflußt. Sie wird verlängert sein bei:
1) insuffizienter Ventrikelmuskulatur
2) erhöhtem Widerstand gegen das auszuwerfende Schlagvolumen (z.B. Aortenstenose, verminderte Elastizität des Windkessels).

Man kann also aus diesem Teil des ansteigenden Schenkels der Pulskurve wahrscheinlich grobe diagnostische Schlüsse auf die Funktionstüchtigkeit des Herzens und auf evtl. Hindernisse der Ausstrombahn und der herznahen Aorta ziehen.

Abb. 7

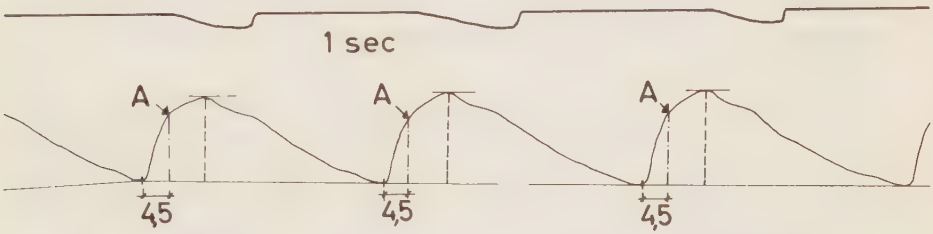


Abb. 7:
Pulskurve eines 30-jährigen, kreislaufgesunden Mannes. (Herzfrequenz 58/min). Die Zeit, bis Punkt A erreicht wird, ist wesentlich verkürzt, gegenüber der Pulskurve einer alten Person.

Abb. 8

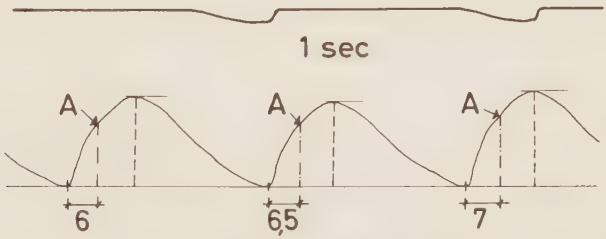


Abb. 8:
Pulskurve einer 75-jährigen Arteriosklerotikerin. (Herzfrequenz 66/min). Die Zeit bis Punkt A erreicht wird, ist hier verlängert.

Man sieht, daß bei alten Personen die Zeit bis zum Erreichen von Punkt A gegenüber jungen Personen verlängert ist. Ferner wird die Zeit noch wesentlich von der Herzfrequenz mitbestimmt. Eine Verdreifachung der Herzfrequenz von 50 Schlägen/min auf 150 Schläge/min hat eine Verkürzung der Systole um 55 % zur folge (WIGGERS, 11).

V. Allgemein gültige statistische Auswertung der Ergebnisse

1) Aus den Messwerten des rechten und linken Auges von 100 untersuchten Personen errechneten wir die Mittelwerte für die PAZ_{70} * und für den Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ *. Außerdem ist die Streuung der Werte um den Mittelwert errechnet. Um pathologische Fälle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit abzugrenzen, muß mindestens die doppelte Streuung um den Mittelwert angenommen werden. Diese Werte werden als Normwerte bezeichnet. S. Tabelle I

2) Für die statistische Auswertung des Seitenvergleiches wurde von jedem Patienten die Differenz der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) aus den Messergebnissen beider Augen ermittelt und als ΔPAZ_{70} bezeichnet. Um pathologische Seitenunterschiede noch exakter erfassen zu können, berechneten wir außerdem den Quotienten aus der PAZ_{70} rechts dividiert durch die PAZ_{70} links. Sowohl für die Differenzen als auch für die Quotienten der PAZ_{70} bestimmten wir den Mittelwert und die doppelte Streuung um den Mittelwert (s. Tab. II). Bei der graphischen Darstellung der Häufigkeitsverteilung wurden auf der Abszissenachse, die in einzelne Gruppen zusammengefasste Werte, als Säulen dargestellt. Die Höhe der Säulen gibt die zugehörige Häufigkeit an. n stellt die Anzahl der untersuchten Fälle dar. (Abb. 21 + 22)

3) Für die statistische Beurteilung des Seitenvergleiches des Wertes $\frac{h}{t}_{70}$ bestimmten wir nur den Quotienten aus rechter und linker Seite, da die Absolutwerte von $\frac{h}{t}_{70}$ noch größeren Schwankungen unterworfen sind als die der PAZ_{70}. Im übrigen wurde wie unter 2) verfahren. (s. Tab. II, Abb. 23)

---

* Anmerkung: Da die Herzfrequenz, wie sich im Kap. IX zeigen wird, sowohl die Pulsanstiegszeit (PAZ) als auch die Quotienten ($\frac{h}{t}$) beeinflußt, bezogen wir die Werte auf eine einheitliche Frequenz von 70 Schlägen/min. Die PAZ bzw. der Quotient $\frac{h}{t}$ wird nun mit dem Index 70, als PAZ_{70} bzw. $\frac{h}{t}_{70}$ bezeichnet.

4) Es wurde mir ferner die Aufgabe gestellt zu untersuchen, ob eine Abhängigkeit der Größen PAZ_{70} und $\frac{h}{t}_{70}$ von

1) dem Mitteldruck (P_m)
2) der Blutdruckamplitude (P_A)
3) dem Alter der Patienten besteht.

Da die Abhängigkeit der PAZ_{70} bzw. des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ von den Größen 1 - 3 untersucht werden soll, sind diese Werte bei den Gegenüberstellungen stets auf der y-Achse, die Größen 1 - 3 auf der x-Achse eines Koordinatensystems abgetragen (Abb. 17 - Abb. 20). Jedes Wertepaar ist durch einen kleinen Kreis gekennzeichnet. Die Mitteldruck- und Blutdruckamplitudenwerte wurden in Gruppen zu je 5 mm Hg zusammengefaßt. Ebenso bildeten wir Altersgruppen von jeweils 5 Jahren. Für jede dieser Gruppen sind nun die Mittelwerte der entsprechenden PAZ_{70} und des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ errechnet. Diese Mittelwerte sind als ausgezogene Linie in das Koordinatensystem eingezeichnet. n stellt die Anzahl aller Wertepaare dar. In gleicher Weise verfuhren wir bei der Untersuchung auf einen Zusammenhang zwischen

1) der Pulsanstiegszeit (PAZ) und der Herzfrequenz (ν)
Abb. 15

2) dem Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ und dem Pulsationsvolumen (PV) Abb. 16

Die Herzfrequenzwerte faßten wir wieder in Gruppen zu je 5 Schlägen/min zusammen; ebenso die Werte des Pulsationsvolumens in Gruppen zu je 5 mm^3 und errechneten für jede dieser Gruppen den zugehörigen Mittelwert der entsprechenden PAZ, bzw. des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$. Hier wurde zur statistischen Beurteilung einer Abhängigkeit zwischen den zu vergleichenden Ergebnissen noch zusätzlich der Korrelationskoeffizient r nach PEARSON-BRAVAIS berechnet. Außerdem stellten wir die Gleichung der Regressionsgeraden auf und zeichneten sie in die graphische Darstellung ein. $\overline{X}$ und $\overline{Y}$ bedeuten den Mittelpunkt aller x- und y-Werte und sind als Schwerpunkt in die Punktwolke eingezeichnet. (X)

VI. Untersuchter Personenkreis

In der vorliegenden Arbeit wird über 100 Personen berichtet, bei denen in der Zeit von Oktober 1966 bis März 1967 routinemäßig eine Ophthalmodynamographie durchgeführt wurde. Nach der routinemäßigen Ophthalmodynamographie wurden bei diesen Patienten noch die Pulskurven bei konstantem Druck im infradiastolischen Druckbereich geschrieben. Es handelte sich um stationäre und ambulante Patienten der Universitäts-Augenklinik. Außerdem bezogen wir 16 Studenten im Alter von 19 - 27 Jahren in die Untersuchungen mit ein. Insgesamt wurden 163 Personen untersucht, von denen aber 63 Ophthalmodynamogramme aus verschiedenen Gründen nachträglich ausgeschieden werden mußten.
Die Gründe waren folgende:
1) schlechte Anlage der Augenkapsel
2) nicht exakte Registrierung der Pulskurven, da diese entweder bei zu hohem Druck (supradiastolisch) oder bei zu niedrigem Druck (mehr als 15 mm Hg unter dem diastolischen Wert) registriert waren. Außerdem ergab sich durch die Ophthalmodynamographie bei mehreren Patienten der Verdacht auf pathologische Veränderungen im Bereich der Hirnstrombahn (Stenosen, starke Arteriosklerose, Aneurysma), so daß auch sie von der Auswertung ausgeschlossen werden mußten. Einzelne krankhafte Befunde werden in Kapitel X den Normalwerten gegenüber gestellt. Die Feststellung, daß bei den restlichen 100 Personen mit großer Wahrscheinlichkeit keine krankhaften Veränderungen im Bereich der arteriellen Hirnstrombahn vorlagen, nahmen wir nach folgenden Gesichtspunkten vor:

a) bei allen 100 Personen entsprach der Ophthalmicadruck dem Oberarmdruck.
b) Es bestanden keine wesentlichen Differenzen der Ophthalmicadrucke und der Pulsationsvolumina zwischen rechter und linker Seite.
c) Aus der Anamnese war kein Anhalt für eine Gefäßkrankheit oder ein vitium cordis zu finden. Das Alter aller untersuchten Personen lag zwischen 15 und 71 Jahren. Die Altersverteilung ist aus Abb. 14 zu entnehmen (s. hinten).

VII. Untersuchungsgang

Die Untersuchungen nahmen wir am Patienten, der auf einem bequemen Untersuchungsstuhl lag, vor. Zuerst wurden an beiden Oberarmen die Blutdruckmanschetten in üblicher Weise angebracht. Darnach fixierten wir ein Körperschallmikrophon zur Registrierung der Korotkoffgeräusche über der Arteria brachialis an der Ellenbeuge mit Hilfe eines Gummibandes. Nun wurde zunächst der Oberarmblutdruck an beiden Seiten bestimmt. Nach dieser Messung klärten wir die Patienten über den weiteren Untersuchungsgang auf. Dies ist dringend zu empfehlen, um dem Patienten die Angst und die damit verbundene Spannung zu nehmen. Dem Patienten wurde gesagt, daß die Augenpulskapsel fest angedrückt werden müßte, was etwas schmerzhaft sein könne. Während der Messung am Auge würde er Sternchen oder andere Lichterscheinungen haben. Trotzdem solle er die Augenlider nicht zukneifen und nicht den Atem anhalten. Der Schmerz, der durch die Anlage der Augenpulskapsel und durch den Kompressionsdruck auf dem Auge hervorgerufen wird, führt gelegentlich aber trotzdem zu einer Änderung der Kreislaufverhältnisse während der Messung. Dies wirkt sich besonders bei jungen, kreislauflabilen Versuchspersonen aus (Studenten). Der Blutdruck und die Pulsfrequenz kann dann während der Messung größeren Schwankungen unterworfen sein. (vgl. Abb. 9) Nach sorgfältiger Anlage der Augenpulskapsel mit einem Anlagedruck von 2 - 2,5 kg, wurde die gleichzeitige Messung des Blutdruckes der Arteria ophthalmica und der Arteria brachialis in der von HAGER beschriebenen Weise vorgenommen.

Beispiel, wie sich die Herzfrequenz während der Messung schlagartig ändern kann, und wie der Blutdruck während der Messung schwanken kann.

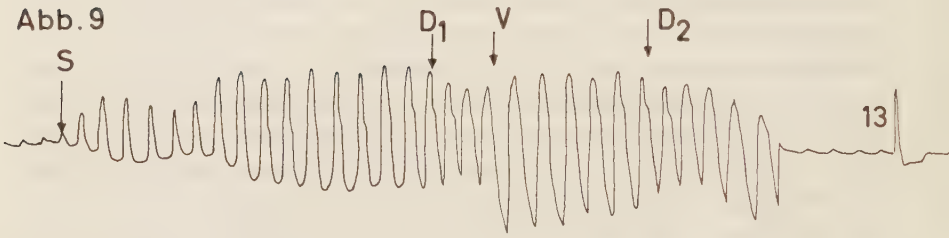


Abb. 9:
Ophthalmodynamogramm eines 24-jährigen Mannes. Die Oscillationen werden bei D_1 plötzlich kleiner, wahrscheinlich als Folge eines vorübergehenden Blutdruckabfalles. Gleichzeitig erhöht sich die Herzfrequenz. Bei Punkt V sinkt die Herzfrequenz wieder ab, gleichzeitig vergrößern sich die Oscillationen. Diese Vergrößerung der Oscillationen ist wahrscheinlich durch eine Zunahme des Schlagvolumens bedingt. Der eigentliche diastolische Blutdruck liegt bei D_2.

Im Anschluß daran erfolgte im supradiastolischen Druckbereich die Bestimmung des Pulsationsvolumens, wie sie von HAGER und SEITZ ausführlich beschrieben wurde. Danach ließen wir den Druck im pneumatischen System nochmals auf 0 ab und pumpten ihn anschließend wieder auf einen Wert auf, der 10 mm Hg unter dem diastolischen Druck lag. Der Druck wurde nun konstant gehalten, aber die Vorschubgeschwindigkeit von 5 auf 50 mm/sec erhöht. Bei gleicher Empfindlichkeit des Gerätes registrierten wir 10 - 15 Bulbusoscillationen. Man muß während mehrerer Atemphasen registrieren, da die Atmung, wenn auch gering, sowohl die Herzfrequenz, als auch die enddiastolische Füllung des Herzens und damit das Schlagvolumen beeinflußt. Außerdem schwankte der Blutdruck selbst in der kurzen Zeit des Messvorganges bei

einigen Patienten, so daß man aus mehreren Werten den Mittelwert errechnen mußte. Im Anschluß an diesen Meßvorgang erfolgte die Registrierung von 3 - 4 Eichzacken. Dadurch kann man die Amplitude der Bulbusoscillation mit der Amplitude einer Volumenverschiebung bekannter Größe (50 mm^3) vergleichen. Alle Amplituden der Bulbusoscillationen wurden auf eine Eichzackenhöhe von 10 mm bezogen. War der Eichvorgang beendet, leiteten wir nach einer Pause von 5 min. am anderen Auge ein Ophthalmodynamogramm in gleicher Weise ab. Der gesamte Untersuchungsgang an beiden Augen dauerte ungefähr 25 min.

VIII. Spezielle Darstellung der Ergebnisse

A) Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz (ν) und der Pulsanstiegszeit (PAZ) (Abb. 15)

Um festzustellen, ob sich eine Abhängigkeit der PAZ von der Herzfrequenz ergibt, stellten wir die beiden Werte einander gegenüber. (Beschreibung der statistischen Auswertung s. Kap.V). So ergaben sich von 97 untersuchten Personen 194 Wertepaare. Es wurden die Messwerte von beiden Augen getrennt verwertet. Diese Trennung war notwendig, da die Herzfrequenz bei den beiden nacheinander folgenden Messungen am rechten und linken Auge gelegentlich Unterschiede aufwies. Die Gründe für die große Schwankungsbreite der Herzfrequenz bei derselben Versuchsperson sind folgende:

1) Der Anlagedruck der Augenkapsel verursacht nach einiger Zeit bei manchen Patienten Schmerzen. Durch Irritation des vegetativen Nervensystems kann es dann zu einer Herzfrequenzbeschleunigung kommen, die gelegentlich nur von einer Seite ausgelöst wird.
2) Der Druck des Ballons auf den Bulbus hat bekanntlich einen Vagusreiz zur Folge (oculo-cardialer-Reflex). Dies kann zu einer Herzverlangsamung während der Messung führen.

Zu einem deutlichen Wechsel der Herzfrequenz während der Messung kam es allerdings erstaunlicherweise nur bei etwa 5 % der untersuchten Personen. Bei diesen handelte es sich um junge Menschen im Alter zwischen 16 und 25 Jahren.

B) Zusammenhang zwischen dem Pulsationsvolumen (PV) und dem Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$

Bei dieser Gegenüberstellung verwenden wir von jeder Versuchsperson jeweils nur einen Wert des Pulsationsvolumens (PV) und des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$. Der Wert ergibt sich als Mittelwert aus rechter und linker Seite. Bei der graphischen Darstellung und statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse wurde, wie im Kap. V beschrieben, verfahren.

C) Normwerte der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) und des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$

Da die Herzfrequenz, wie sich in Kap. IX zeigen wird, sowohl die Pulsanstiegszeit (PAZ) als auch den Quotienten ($\frac{h}{t}$) beeinflußt, bezogen wir die Werte auf eine konstante Frequenz von 70 Schlägen/min und bezeichneten nun die PAZ mit dem Index 70 als PAZ_{70}. Desgleichen den Quotienten ($\frac{h}{t}$) als $\frac{h}{t}_{70}$. Durch diese Maßnahme kann der störende Einfluß der Herzfrequenz auf die Pulsanstiegszeit und auf den Quotienten ($\frac{h}{t}$) teilweise ausgeschaltet werden. Durch den Korrekturfaktor ist nur ein Teil der PAZ berichtigt (s. Kap. IV). Eine genaue Unterteilung in einen von der Herzfrequenz abhängigen Teil und einen Abschnitt, der von der Herzfrequenz weitgehend unabhängig ist, ist nicht möglich. Die Umrechnung war aber trotzdem erforderlich, da sonst durch eine hohe Herzfrequenz ein verzögerter Pulsanstieg verschleiert würde. Bei der graphischen Darstellung und statistischen Auswertung gingen wir, wie in Kap. V beschrieben, vor. Es ergaben sich folgende Gegenüberstellungen:

1) PAZ_{70} — Mitteldruck (Pm)(Abb. 17)
2) PAZ_{70} — Blutdruckamplitude (P_A) (Abb. 18)
3) PAZ_{70} — Lebensalter der Patienten (Abb. 19)
4) $\frac{h}{t}_{70}$ — Blutdruckamplitude (P_A) (Abb. 20)

D) Seitenvergleich der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70})

1) Für die statistische Auswertung des Seitenvergleiches wurde von jedem Patienten die Differenz der PAZ_{70} aus den Messergebnissen der rechten und linken Seite ermittelt und die einzelnen Differenzen in Gruppen von jeweils 0,010 sec zusammengefaßt. Dauerte die PAZ_{70} am rechten Auge länger als am linken Auge, so ist dies als positive Differenz (Δ PAZ_{70}) bezeichnet. Dauert sie am linken Auge länger als am rechten, so ist dies als negative Differenz (Δ PAZ_{70}) bezeichnet. Statistische Auswertung der Ergebnisse s. Kap. V und Abb. 21.

2) Um pathologische Seitenveränderungen noch exakter erfassen zu können, berechneten wir außerdem den Quotienten aus PAZ_{70} rechts dividiert durch PAZ_{70} links. Der Vorteil dieser Methode gegenüber der Berechnung der Seitendifferenz besteht darin,

daß man hier unabhängig von den Absolutwerten ist. Deshalb ist der Quotient zur Beurteilung pathologischer Seitenveränderungen zuverlässiger, als die Berechnung der Seitendifferenz. So muß z.B. einer Differenz von 0,03 sec bei einer sehr kurzen PAZ_{70} (z.B. 0,18 sec) eine größere Wahrscheinlichkeit auf pathologische Veränderungen beigemessen werden, als dies bei einer PAZ_{70} von 0,28 sec der Fall ist. Der Quotient $\frac{PAZ_{70\ re}}{PAZ_{70\ li}}$ gibt das Verhältnis zwischen rechter und linker Seite an. Er stellt einen reinen Zahlenwert dar und bezeichnet außer der Seite auch das Maß der Abweichung. Bei Seitengleichheit beträgt der Wert 1,0. Überwiegt die rechte Seite, so ist er größer als 1,0. Überwiegt die linke Seite, so ist er kleiner als 1,0. Statistische Auswertung der Ergebnisse s. Kap. V und Abb. 22.

E) Bestimmung des Quotienten aus rechter und linker Seite von $\frac{h}{t}_{70}$

Hier berechneten wir nur den Quotienten aus rechter und linker Seite, da die Absolutwerte von $\frac{h}{t}_{70}$ noch größeren Schwankungen unterworfen sind, als die der PAZ_{70}. Die Ursache hierfür liegt zum Teil an der großen individuellen Schwankungsbreite des Pulsationsvolumens und der "Pulsankoppelung" unterhalb des diastolischen Blutdruckwertes. Beide Faktoren beeinflussen die Größe h entscheidend. So wirken sich bei der Bestimmung von $\frac{h}{t}_{70}$ besonders stark untersuchungstechnische Fehler aus (s. Kap. XI). Registriert man z.B. die Pulskurve 2 - 3 mm Hg unter dem diastolischen Druck, anstatt 10 mm Hg darunter, so ergeben sich größere h-Werte (s. Kap. II). Statistische Auswertung der Ergebnisse s. Kap. V und Abb. 23.

Kapitel IX

Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse unserer statistischen Berechnungen sind in Tabelle I und II zusammengefaßt.

A) Abhängigkeit der Pulsanstiegszeit (PAZ) von der Herzfrequenz (ν)

Bei der Betrachtung der graphischen Darstellung (Abb. 15) und des Korrelationskoeffizienten r ist zu erkennen, daß eine Abhängigkeit der PAZ von der Herzfrequenz besteht, die jedoch mit r = -0,72 nicht sehr eng ist. Die Ursache hierfür liegt wahrscheinlich sowohl an untersuchungstechnischen Gründen, als auch an der Tatsache, daß die PAZ vielleicht aus mehreren Anteilen besteht. Es ist ungewiß, ob alle "Teilkomponenten" der PAZ von der Herzfrequenz abhängig sind. Für obige Gegenüberstellung wurde außerdem die Regressionsgerade (y = -1,86 x +363,60) aufgestellt. Sie entspricht in ihrem Verlauf ungefähr der Kurve der PAZ-Mittelwerte und besagt, daß mit steigender Herzfrequenz die Pulsanstiegszeit kürzer wird.

B) Zusammenhang zwischen dem Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ und dem Pulsationsvolumen PV

Auch hier läßt sich eine Abhängigkeit des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ von dem Pulsationsvolumen feststellen. Der Korrelationskoeffizient beträgt r = +0,735. Die Korrelation ist also ähnlich wie unter A. Die Gleichung der Regressionsgeraden lautet y = 1,159 x +40,3. Aus ihrem Verlauf ist ersichtlich, daß der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ mit zunehmenden Pulsationsvolumen zunimmt (Abb. 16).

C) Normwerte der PAZ_{70} und des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$

Den Mittelwert PAZ_{70} errechneten wir aus den Werten der 100 untersuchten Personen mit 0,233 sec. Die Streuung der PAZ_{70} um den Mittelwert beträgt s_u = 0,024 sec. Um pathologische Fälle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit abzugrenzen, muß mindestens die doppelte Streuung um den Mittelwert angenommen werden. Die Schwankungsbreite der Normwerte der PAZ_{70} beträgt

somit 0,185 sec bis 0,281 sec. Die Variationsbreite, d.h. die Differenz zwischen dem größten und kleinsten Wert der Untersuchungsreihe, beträgt 0,18 sec bis 0,284 sec.

Der Mittelwert für den Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ beträgt 1,39. Die Streuung s_u errechnet sich mit $\pm$ 0,32 um den Mittelwert. Auch hier nehmen wir die doppelte Streuung um den Mittelwert, um pathologische Fälle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ausschließen zu können. Die Schwankungsbreite der Normwerte beträgt somit 0,75 bis 2,03.

Aus der Gegenüberstellung der PAZ_{70} und des Mitteldruckes (Pm) (Abb. 17) ist zu ersehen, daß keine Abhängigkeit dieser beiden Größen besteht. Ebenso ist kein Zusammenhang zwischen der PAZ_{70} und der Blutdruckamplitude (P_A) (Abb. 18) zu ersehen. Dagegen gewinnt man den Eindruck, daß die PAZ_{70} mit steigendem Lebensalter verlängert wird (Abb. 19).

D) Seitenvergleich der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) zwischen rechtem und linken Auge:

1) Seitendifferenzen des rechten und linken Auges:
Die graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Seitendifferenzen Δ PAZ_{70} (Abb. 21) zeigt, daß in der Mehrzahl der Fälle keine, oder nur eine geringe Differenz zwischen rechtem und linken Auge besteht. Die Werte der Seitendifferenzen sind gleichmäßig um den 0-Wert verteilt. Der Mittelwert $\Delta\overline{PAZ}_{70}$ aus den 100 Wertepaaren errechnet sich mit + 0,0025 sec. Er beträgt also praktisch 0; d.h., daß normalerweise zwischen rechter und linker Seite in der Pulsanstiegszeit keine Differenz besteht. Die Streuung um den Mittelwert beträgt s_u $\pm$ 0,021 sec. Differenzen der PAZ_{70}, die innerhalb der doppelten Streuung von 2 s_u = $\pm$ 0,042 sec liegen, können noch als normal gewertet werden. Werte außerhalb dieses Bereiches dürfen mit großer Wahrscheinlichkeit als pathologische Seitendifferenzen angesehen werden.

2) Quotient aus rechter und linker Seite:

Die Gründe, den Seitenvergleich nicht nur unter Berücksichtigung der absoluten Werte der Pulsanstiegszeit zu bewerten,

wurden im vorherigen Kapitel beschrieben, und deshalb auch noch der Quotient aus $\frac{PAZ_{70}\ re}{PAZ_{70}\ li}$ errechnet. Die Häufigkeitsverteilung um den Mittelwert zeigt Abb. 22. Den Mittelwert errechneten wir mit 1,014. Als Maß für die Streuung wurde auch hier die mittlere quadratische Abweichung errechnet, und dabei der Wert $s_u = \pm 0{,}095$ gefunden. Die Grenzen der Normalwerte liegen zwischen 0,824 und 1,204 (2-Sigma-Grenze). Ein Quotient außerhalb obiger Grenzen ist mit großer Wahrscheinlichkeit als pathologisch aufzufassen.

E) Bestimmung des Quotienten aus rechter und linker Seite des Wertes $\frac{h}{t}_{70}$:

Die Häufigkeitsverteilung um den errechneten Mittelwert von 0,982 ist aus Abb. 23 ersichtlich. Die Streuung um den Mittelwert beträgt $s_u = \pm 0{,}159$. Die Normwerte liegen also zwischen 0,664 und 1,300.

X. Darstellung einiger pathologischer Fälle

A) Carotisstenose

1. Beispiel: 46 Jahre alter Mann mit einer Carotisstenose rechts. Die Stenose wurde mit Hilfe der Arteriographie verifiziert.

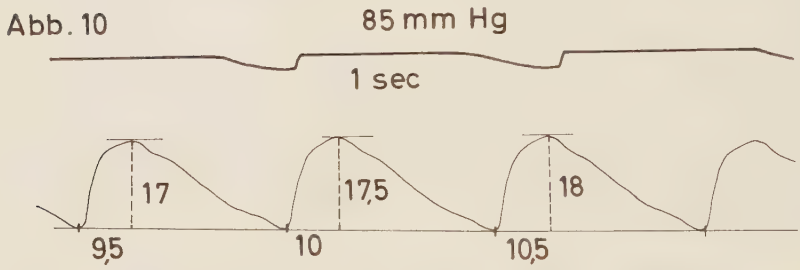


Abb. 10:
Pulskurve am gesunden linken Auge des obigen Patienten. Die Kurve weist keinen pathologischen Befund auf.

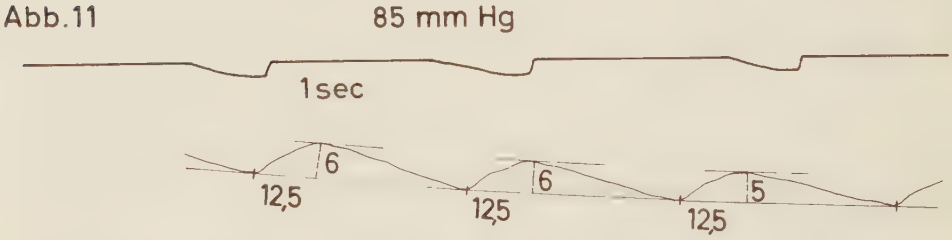


Abb. 11:
Pulskurve am rechten Auge desselben Patienten. Die Pulsamplitude ist stark verkleinert (6 mm gegenüber 17,5 mm am gesunden Auge). Die Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) ist verlängert (0,257 sec gegenüber 0,236 am gesunden Auge). Näheres s. Text.

Bei unseren Untersuchungen ergaben sich folgende Ergebnisse:

linkes Auge		rechtes Auge (Stenose)	
p_{sd} brach.	: 164/80 mm Hg	p_{sd} brach.	: 181/84 mm Hg
p_{sd} opht.	: 165/112 mm Hg	p_{sd} opht.	: 157/96 mm Hg
P_A	: 52 mm Hg	P_A	: 61 mm Hg
PV	: 90 mm^3	PV	: 50 mm^3
$PV/_t$	: 130 mm^3/sec	$PV/_t$	: 67 mm^3/sec
ν	: 87/min	ν	: 81/min
$\frac{h}{t}_{70}$	: 1,69	$\frac{h}{t}_{70}$	: 0,521
PAZ_{70}	: 0,236 sec	PAZ_{70}	: 0,257 sec

$$\frac{\frac{h}{t}_{70}\ (re)}{\frac{h}{t}_{70}\ (li)} = 0{,}304$$

$$PAZ_{70}\ re - li = 0{,}021\ sec$$

$$\frac{PAZ_{70}\ re}{PAZ_{70}\ li} = 1{,}09$$

Diskussion:

Der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ liegt auf der rechten Seite (0,521) eindeutig unter der noch zulässigen Norm (1,39 $\pm$ 0,64). Ebenso der Quotient aus rechter und linker Seite (0,304). Der normale Wert mit der noch zulässigen Streuung beträgt (0,982 $\pm$ 0,318). Dagegen geben hier die PAZ_{70}-Werte keinen eindeutigen Hinweis auf pathologische Veränderungen. Sowohl der Wert der rechten als auch der linken Seite liegt im Bereich der Norm. Auch die Seitendifferenz, bzw. der Quotient aus rechter und linker Seite geben keinen Hinweis auf eine pathologische Veränderung. Wohl beträgt die PAZ_{70} auf der Seite der Stenose 0,021 sec mehr,

als auf der gesunden Seite, aber solche Differenzen kommen auch bei völlig normalen Strömungsverhältnissen im Bereich der Hirnstrombahn vor. Einen wertvollen Hinweis auf einen stenosierenden Prozess gibt also die starke Abnahme der Anstiegssteilheit $\frac{h}{t}_{70}$ auf 0,521. Dies ist auf eine Dämpfung der Pulsamplitude durch die Stenose zurückzuführen.

Ein weiteres Zeichen für die Carotisstenose rechts ist die große Differenz der Pulsationsvolumina. (Die Seitendifferenz beträgt 40 mm^3). Diese Differenz liegt außerhalb der noch zulässigen Werte (SEITZ, 29). Ferner beträgt die Blutdruckdifferenz zwischen Oberarmdruck und Ophthalmicadruck auf der rechten Seite 24 mm Hg. Diese Differenz weist ebenfalls auf einen stenosierenden Prozess im Bereich der Arteria carotis interna hin.

2. Beispiel: 56 Jahre alter Patient mit beidseitiger Carotisstenose. Es ergab sich folgender ophthalmodynamographischer Befund:

rechtes Auge (Stenose)		linkes Auge (Stenose)	
p_{sd} brach.:	145/90 mm Hg	p_{sd} brach.:	140/85 mm Hg
p_{sd} opht. :	130/96 mm Hg	p_{sd} opht. :	132/80 mm Hg
P_A :	34 mm Hg	P_A :	52 mm Hg
PV :	39 mm^3	PV :	45 mm^3
$\frac{h}{t}_{70}$:	0,75	$\frac{h}{t}_{70}$:	0,656
PAZ_{70} :	0,240 sec	PAZ_{70} :	0,248 sec

$$\frac{\frac{h}{t}_{70\ re}}{\frac{h}{t}_{70\ li}} = 1{,}14$$

$$PAZ_{70}\ re - li = 0{,}008\ sec$$

$$\frac{PAZ_{70}\ re}{PAZ_{70}\ li} = 0{,}97$$

Diskussion:

Der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ liegt auf der rechten Seite an der untersten Grenze der Norm, auf der linken Seite liegt er außerhalb der doppelten Streuung um den Mittelwert. Der Quotient aus rechter und linker Seite liegt dagegen im Bereich der Norm, da ja beide Seiten stenosiert sind. Die PAZ_{70} der rechten und linken Seite ist ebenfalls unauffällig.

B) Carotisaneurysma

Bei der 31-jährigen Patientin wurde durch die Arteriographie ein Aneurysma der Arteria carotis interna diagnostiziert. Das Aneurysma lag herzwärts von dem Abgang der Arteria ophthalmica sinistra.
Es ergab sich folgender ophthalmodynamographischer Befund:

rechtes Auge		linkes Auge (Aneurysma)	
p_{sd} brach.:	130/85 mm Hg	p_{sd} brach.:	125/75 mm Hg
p_{sd} opht. :	128/80 mm Hg	p_{sd} opht. :	120/70 mm Hg
PV :	92 mm^3	PV :	73 mm^3
PAZ_{70} :	0,256 sec	PAZ_{70} :	0,246 sec
$\frac{h}{t}_{70}$:	1,48	$\frac{h}{t}_{70}$:	1,08

$$\frac{\frac{h}{t}_{70\ re}}{\frac{h}{t}_{70\ li}} = 1{,}37$$

Diskussion:

Sowohl die PAZ_{70}-Werte als auch die $\frac{h}{t}_{70}$-Werte liegen im Bereich der Norm. Der Quotient $\frac{\frac{h}{t}_{70\ re}}{\frac{h}{t}_{70\ li}}$ liegt mit 1,37 knapp außerhalb der 2 Sigma-Grenze (normal: $0{,}982 \pm 0{,}318$). Außerdem imponiert die relativ große Differenz des Pulsationsvolumens der rechten und linken Seite (19 mm Hg). Auf Grund der Ergebnisse der Pulsdiagnostik kann nicht unbedingt auf einen krankhaften Prozess geschlossen werden. Dies deckt sich mit den Beobachtungen, die JUNGMANN und GADERMANN (11) sowie BLACKARD (10) an Aneurysmen der mittleren und großen Körperarterien gemacht haben.Sie stellten fest, daß ein Aneurysma die Pulsform nicht wesentlich verändert. Dagegen ist die Pulsamplitude bei unserer Messung am linken Auge verkleinert, was in einer starken Seitendifferenz der Pulsationsvolumina seinen Ausdruck findet.

Die Seitendifferenz des Pulsationsvolumens liegt an der Grenze der Norm. Sie ist damit auf eine pathologische Veränderung im Bereich des linken Auges verdächtig, aber nicht beweisend. Um den Verdacht zu festigen, wären mehrmalige Untersuchungen notwendig. Wenn sich dabei konstant immer dieselbe große Differenz zeigen würde, so müßte man mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die Abnahme des Pulsationsvolumens am linken Auge durch das Aneurysma verursacht wird.

C) Arteriosklerosеverdächtige Kurven

Untersuchter Personenkreis:

Es handelt sich hier um 9 Personen mit einem Durchschnittsalter von 64 Jahren. Alle sind Hypertoniker. Die Vermutung, daß es sich hier um Patienten mit arteriosklerotisch veränderten Gefäßen handelt, wurde durch folgende Befunde gestützt:

1) Alter der Patienten
2) Hypertonus
3) flacher Anstieg der Bulbusoscillationen im Ophthalmodynamogramm.

Befund:

Als Mittelwert für die PAZ_{70} ergab sich 0,280 sec.
Den Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ berechneten wir mit 0,964.

Diskussion:

Vergleicht man diese Werte mit den Werten von kreislaufgesunden Personen, (PAZ_{70}: 0,23 $\pm$ 0,047 sec; $\frac{h}{t}_{70}$: 1,39 $\pm$ 0,64) so findet man eine deutliche Verlängerung der PAZ_{70}. Sie liegt sogar außerhalb der doppelten Streuung um den Mittelwert. Der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ ist außerdem stark verkleinert. Die Ursache für die verlängerte PAZ_{70} liegt wohl in dem Starrwerden der Arterien bei der Arteriosklerose. Ferner spielt ein, mit dem Alter zunehmender, Elastizitätsverlust der Arterien, eine wichtige Rolle (MORET, 26). MORET stellte fest, daß schon ab dem 20. Lebensjahr eine Veränderung des Kollagengewebes und der Grundsubstanz auftritt, während sich das elastische Gewebe erst gegen das 70. Lebensjahr wesentlich verändert. Auch diese beiden Faktoren dürften neben der wahrscheinlichen Arteriosklerose mit zu der verlängerten PAZ_{70} beitragen. Daß mit zunehmendem Lebensalter die PAZ_{70} auch die Tendenz hat anzusteigen, geht aus Abb. 19 hervor.

Abb. 12

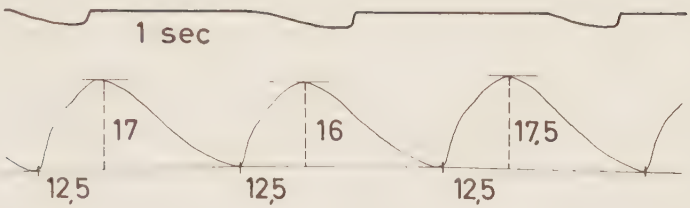


Abb. 12:
Pulskurve einer 75-jährigen Arteriosklerotikerin. Dreieckform der Pulskurve. Flacher, ansteigender Schenkel. Im abfallenden Schenkel bilden sich keine Incisur und keine dikroten Wellen aus.

Abb. 13

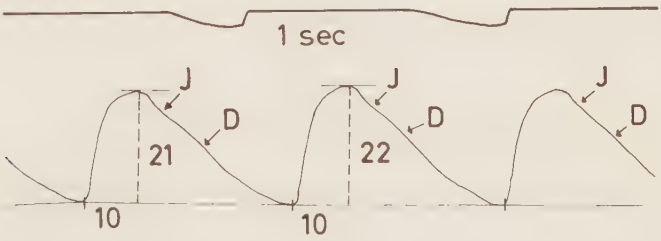


Abb. 13:
Pulskurve eines 23-jährigen Mannes. Rascher Pulsanstieg. Im abfallenden Schenkel ist eine angedeutete Incisur (J) und eine flache dikrote Welle (D) zu sehen.

Die Abb. 12 zeigt die Bulbusoscillationen bei einer 75-jährigen Arteriosklerotikerin. Schon die Form der Oscillationen weist charakteristische Veränderungen gegenüber der eines jugendlichen (Abb. 13) auf. Sie stellt beim Arteriosklerotiker, grob betrachtet, ein gleichschenkliges Dreieck dar.

Man kann sie auch als zeltförmig bezeichnen. Der ansteigende Schenkel verläuft relativ flach ($\frac{h}{t}$: 1,36; PAZ: 0,25 sec). Im abfallenden Schenkel bilden sich keine Incisur und keine dikroten Wellen aus. Ganz anders ist das Bild einer jugendlichen Kurve. Hier haben wir einen schnellen Anstieg ($\frac{h}{t}$: 2,15; PAZ: 0,20 sec), obwohl die Herzfrequenz nur 66 Schläge/min beträgt. Im abfallenden Schenkel ist eine angedeutete Incisur (I) und eine flache dikrote Welle (D) zu sehen. Obwohl es sich bei unserer Registrierung um keine echte Volumenpulsschreibung handelt, wie schon in Kap. I erwähnt wurde, ähnelt das Bulbusorbitaoscillogramm eines Arteriosklerotikers der Kurve einer arteriosklerotisch veränderten Arterie. Auch dort findet man als typischen Befund die Dreiecksgestalt, bzw. den verzögerten Anstieg.

Kapitel XI

Zusammenfassung und kritische Beurteilung der Ergebnisse

1) Zusammenfassung

Wie eingangs erwähnt, sollte ich bei 100 kreislaufgesunden Menschen Normwerte der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) und des Quotienten ($\frac{h}{t}_{70}$) ermitteln, um damit einen Vergleich gegenüber pathologischen Fällen zu erlauben. In orientierender Weise wurden einige krankhafte Befunde aufgeführt (Stenose, Aneurysma, Bulbusoscillationen bei alten Personen mit Verdacht auf Arteriosklerose). Die Normwerte waren folgende:

PAZ_{70}: 0,185 sec - 0,281 sec

$\frac{h}{t}_{70}$: 0,75 - 2,03

Es wurden die Werte der Pulsanstiegszeit (PAZ) in Relation gesetzt zu der Herzfrequenz (ν).
Ferner stellten wir die mit einem Korrekturfaktor multiplizierte Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) folgenden Größen gegenüber:

1) dem Mitteldruck Pm (Abb. 17)
2) der Blutdruckamplitude P_A (Abb. 18)
3) dem Lebensalter der Patienten (Abb. 19)

Außerdem untersuchten wir, ob eine Abhängigkeit des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ von der Blutdruckamplitude P_A besteht (Abb. 20).
Es hat sich gezeigt, daß eine gewisse Abhängigkeit der PAZ von der Herzfrequenz besteht. Außerdem ist der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ von der Blutdruckamplitude abhängig. Ferner gewinnt man den Eindruck, daß die PAZ_{70} mit steigendem Lebensalter länger wird. Dagegen hat sich keine Abhängigkeit der PAZ_{70} vom Mitteldruck und von der Blutdruckamplitude gezeigt.

2) Kritische Beurteilung

Wenn man die normalen Werte mit denen der pathologischen Fälle vergleicht, so sieht man, daß die PAZ_{70} durch eine Stenose nur gering verändert, dagegen der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ stark

verkleinert wird. Man kann also auf Grund der Verkleinerung des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ den Verdacht auf eine Stenose äußern. Dies ist auch möglich, wenn eine große Differenz des Pulsationsvolumens zwischen rechtem und linken Auge, oder ein Druckunterschied zwischen dem Oberarmblutdruck und dem Druck in der Arteria ophthalmica besteht. Bei einseitiger Stenose gibt auch der außerhalb der Norm liegende Quotient $\frac{\frac{h}{t}_{70\ re}}{\frac{h}{t}_{70\ li}}$ einen weiteren Hinweis auf einen obstruierenden Prozess.

Bei beidseitiger Stenose (s. auch Seite 31) ist der Seitenvergleich sinnlos. Aber der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ liegt auf beiden Seiten unterhalb, bzw. an der unteren Grenze der Norm. Die Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) kann nicht zur Diagnosestellung "Stenose" mit herangezogen werden, da sie eine zu große Schwankungsbreite aufweist, so daß die geringgradige Pulsanstiegszeitverzögerung durch eine Stenose in den Bereich der normalen Schwankungsbreite fällt. Außerdem wird die Dauer der Pulsanstiegszeit stark von der Funktionstüchtigkeit des Herzens mitbestimmt, so daß eine absolute Verlängerung der PAZ_{70} nichts aussagt. Die Ursachen für die relativ große Streuung der PAZ_{70}-Werte und des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ sind folgende:

A) Untersuchungstechnische Gründe:

1) Bei einigen wenigen Versuchspersonen war es nicht möglich die Kapsel optimal anzulegen, besonders bei Personen mit stark vorspringenden Orbitalrändern, mit seitlich verbogenem Nasenrücken und bei Patienten mit extrem schmalem Gesichtsschädel. Die mangelhafte Anlage führte dazu, daß der Druck in dem Ballon nicht nur auf das Auge und das gesamte Orbitalgewebe übertragen wird, sondern auch auf benachbarte Knochenpunkte und Weichteile. Dadurch treten Druckverluste auf. Die Oscillationen werden nicht in ihrer wahren Größe wiedergegeben. Obige Fälle wurden, sofern sie offensichtlich waren, nicht in die Untersuchungsreihe mit einbezogen. Aber es war sicher nicht in allen Fällen möglich, diese Fehlerquellen zu erkennen.

2) Es war technisch nicht immer möglich, die Bulbusoscillationen genau 10 mm Hg unter dem diastolischen Druck abzuleiten, da sicherlich in manchen Fällen geringgradige Blutdruckschwankungen auftraten. Die dadurch entstandenen Fehler sind in Kap. II beschrieben worden.

B) Andere Ursachen

1) Die Umrechnung der PAZ auf eine einheitliche Frequenz von 70 Schlägen/min bringt vielleicht eine Ungenauigkeit mit sich. Falls die PAZ aus mehreren Komponenten besteht, ist es möglich, daß einige unter ihnen nicht von der Herzfrequenz abhängig sind und damit also "ungerechtfertigt" umgerechnet werden.

2) Betrachtet man die graphische Darstellung der Abhängigkeit der PAZ_{70} vom Lebensalter (Abb. 19), so gewinnt man den Eindruck, daß sie mit zunehmendem Alter ebenfalls zunimmt. Eine sinnvolle Erklärung wäre die mit dem Alter vermehrt auftretende Rigidität der Gefäße.

3) Das Pulsationsvolumen (PV) ist abhängig von der Blutdruckamplitude (P_A) (SEITZ). Die Blutdruckamplitude am Ort der Messung hängt ihrerseits ab von:

a) der zentralen P_A

Diese wird durch folgende Größen modifiziert:

1) Schlagvolumen
2) Herzfrequenz
3) elastischem Widerstand des Windkessels

b) einem vor der Meßstelle liegenden Widerstand

c) dem peripheren Widerstand hinter der Meßstelle

Da die Messung an den beiden Augen nacheinander durchgeführt wird, kann sich sowohl das Schlagvolumen als auch die Herzfrequenz während der Messung ändern. Außerdem kann durch einen erhöhten Sympaticotonus eine Vascokonstriktion erfolgen, die einen erhöhten Strömungswiderstand vor der Meßstelle bewirkt. Die P_A ist also bei nicht simultaner Messung vielen modifizierenden Faktoren unterworfen. Das Pulsationsvolumen seiner-

seits beeinflußt wieder die Größe $\frac{h}{t}_{70}$ (s. Kap. IX). Die Vielzahl der oben angeführten Störfaktoren macht es deutlich, warum die PAZ_{70} und der Quotient $\frac{h}{t}_{70}$ so großen Schwankungen unterworfen sind.

Beziehung der Pulsanstiegszeit (PAZ) zur Herzfrequenz (ν):

Die Korrelation zwischen den beiden Kreislaufgrößen ist nicht besonders eng (Korrelationskoeffizient r = - 0,72). Der Grund hierfür liegt in der großen Streuung der PAZ-Werte, deren Ursachen oben angeführt wurden. Trotzdem ist eine Abhängigkeit der PAZ von der Herzfrequenz zu ersehen. WIGGERS (11) stellte fest, daß die Systole, wenn auch nicht in so starkem Maße wie die Diastole, von der Herzfrequenz abhängt. Der arterielle Zufluß in eine Arterie erfolgt wiederum um so schneller, je kürzer die Systole ist; bei gleichbleibendem peripheren Widerstand. Die Gipfelzeit ist ja definiert als die Zeit, bei welcher der arterielle Zustrom gleich dem Abstrom ist. Sie ist also abhängig von der Systolendauer und damit von der Herzfrequenz. Die Gipfelzeit wiederum ist eine Teilkomponente unserer Pulsanstiegszeit. So muß man auf Grund dieser rein theoretischen Überlegungen schon eine Abhängigkeit der PAZ von der Herzfrequenz erwarten.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß wir trotz der großen Streuung des Quotienten $\frac{h}{t}_{70}$ (0,75 - 2,03) in ihm ein weiteres Kriterium zur Feststellung einer Gefäßstenose oder eines Gefäßverschlusses im Bereich der Arteria carotis interna haben. Auch der Seitenvergleich des Wertes $\frac{h}{t}_{70}$, in Form des Quotienten aus rechter und linker Seite, kann bei einseitiger Stenose einen wertvollen Hinweis auf eine pathologische Veränderung geben. Die Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) eignet sich dagegen nicht als diagnostisches Hilfsmittel zur Stenosenbeurteilung. Sie scheint lediglich grobe diagnostische Hinweise auf die Elastizitätsverhältnisse des arteriellen Gefäßsystems zu geben. Bei alten Personen, besonders wenn noch eine Arteriosklerose besteht, ist sie deutlich erhöht (s. Kap. X, arteriosklerosevердächtige Kurven).

Tabelle I:

Normwerte der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) und des Quotienten ($\frac{h}{t}_{70}$)

	Mittelwert	s_u	$2\ s_u$	Normwerte	Variations-breite
PAZ_{70}	0,233 sec	$\pm$ 0,024 sec	$\pm$ 0,048 sec	0,185 sec - 0,281 sec	0,180 sec - 0,284 sec
$\frac{h}{t}_{70}$	1,39	$\pm$ 0,32	$\pm$ 0,64	0,75 - 2,03	0,72 - 2,22

Tabelle II:

Mittel- und Grenzwerte der Seitendifferenz und des Quotienten der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) und des Wertes $\frac{h}{t}_{70}$

	Mittelwert	s_u	$2\ s_u$	Normwerte
PAZ_{70} re - PAZ_{70} li = Δ PAZ_{70}	0,0025 sec	$\pm$ 0,021 sec	$\pm$ 0,042 sec	- 0,0395 sec bis + 0,0445 sec
$\frac{PAZ_{70}\ re}{PAZ_{70}\ li}$	1,014	$\pm$ 0,095	$\pm$ 0,19	0,824 - 1,204
$\frac{\frac{h}{t}_{70}\ re}{\frac{h}{t}_{70}\ li}$	0,982	$\pm$ 0,159	$\pm$ 0,318	0,664 - 1,300

Abb. 14: Altersverteilung des untersuchten Personenkreises

Abb. 15: Gegenüberstellung der Pulsanstiegszeit (PAZ) und der Herzfrequenz

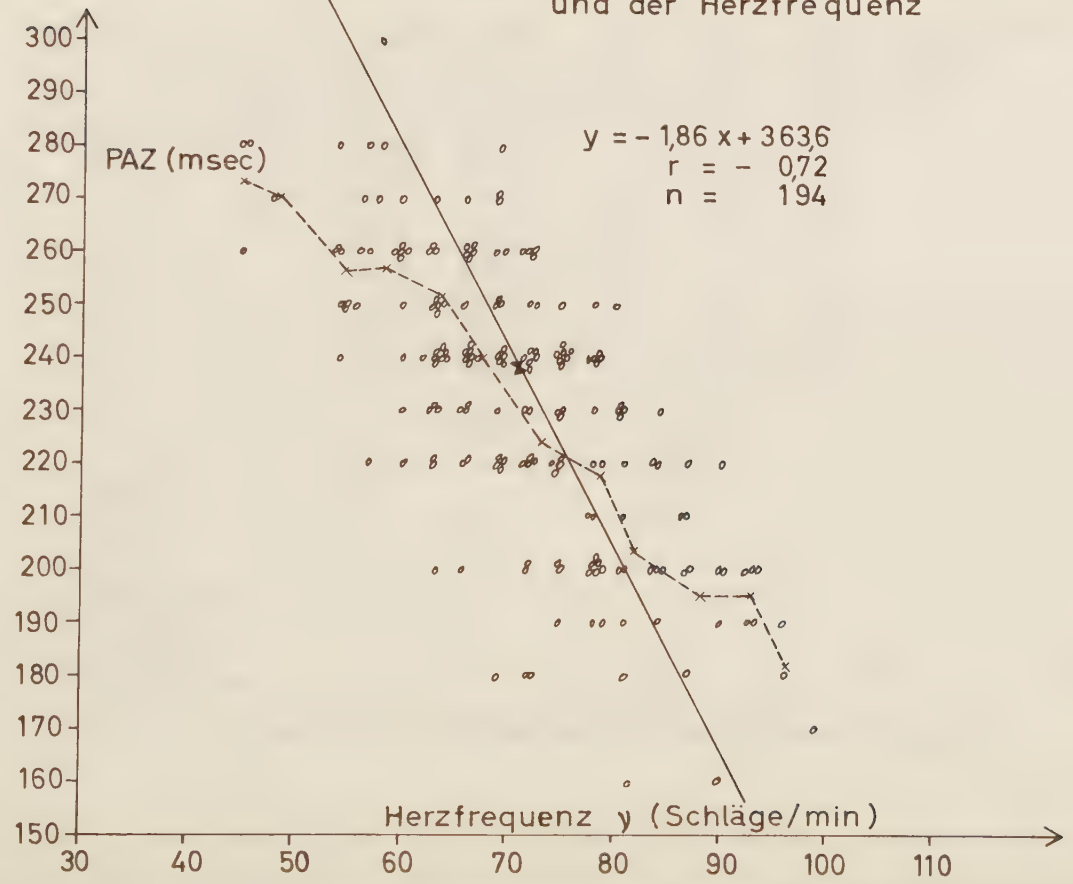


Abb. 16: Gegenüberstellung des Quotienten $\frac{h}{t_{70}}$ und des Pulsationsvolumens (PV)

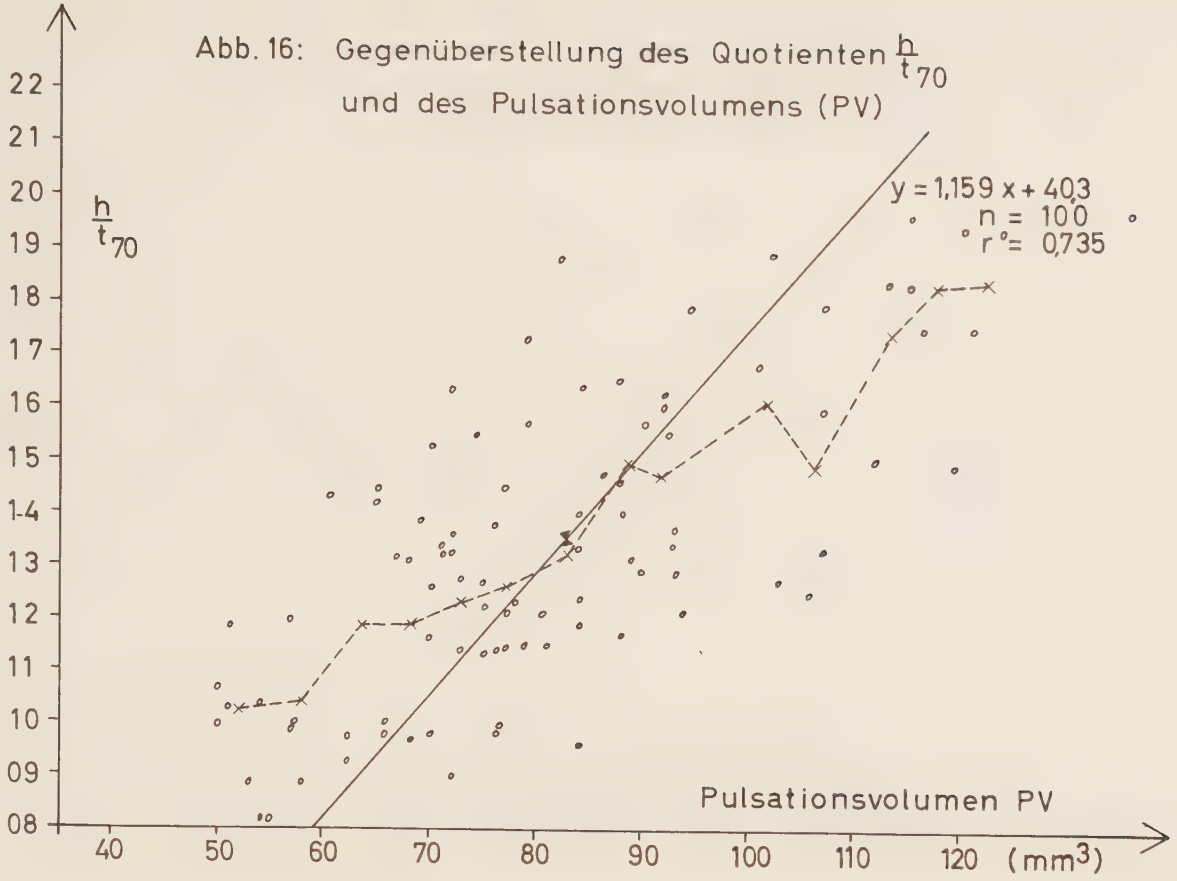
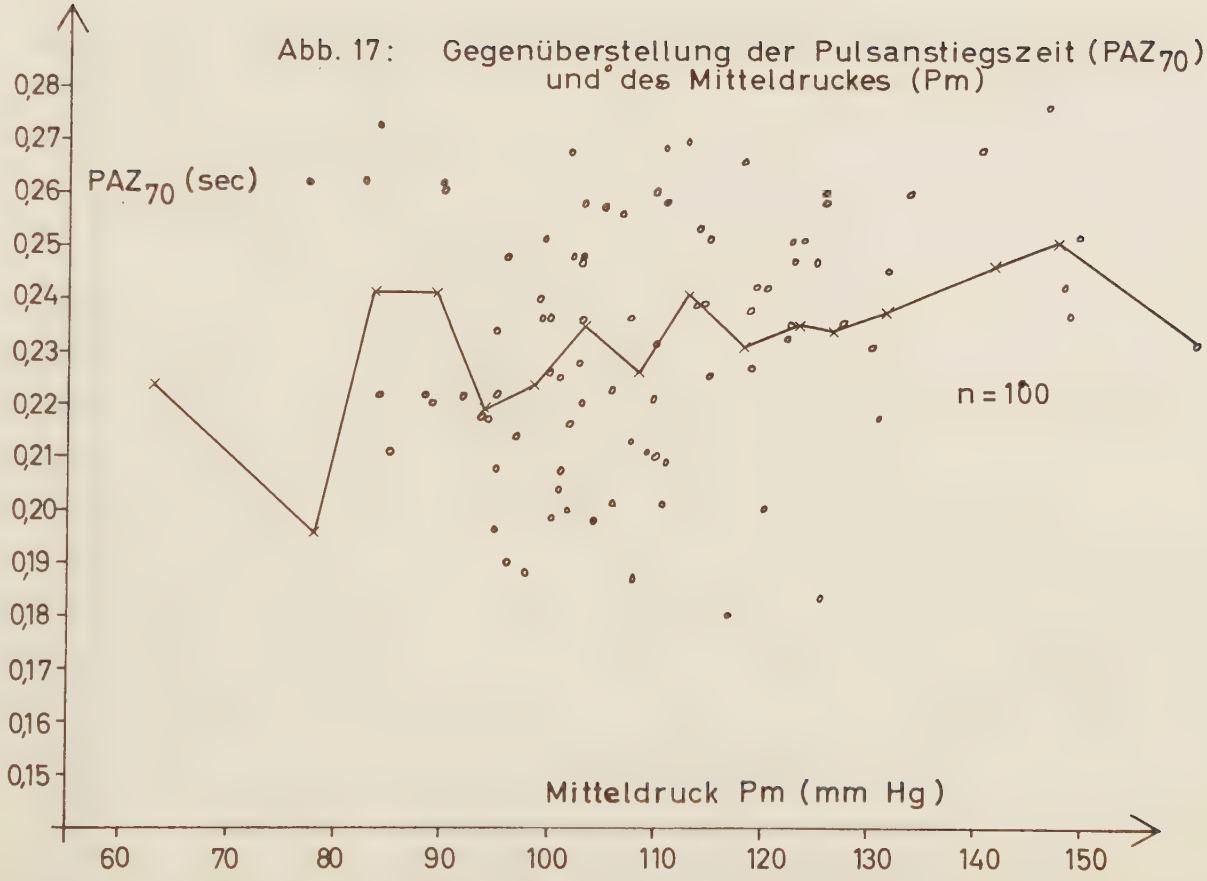


Abb. 17: Gegenüberstellung der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) und des Mitteldruckes (Pm)



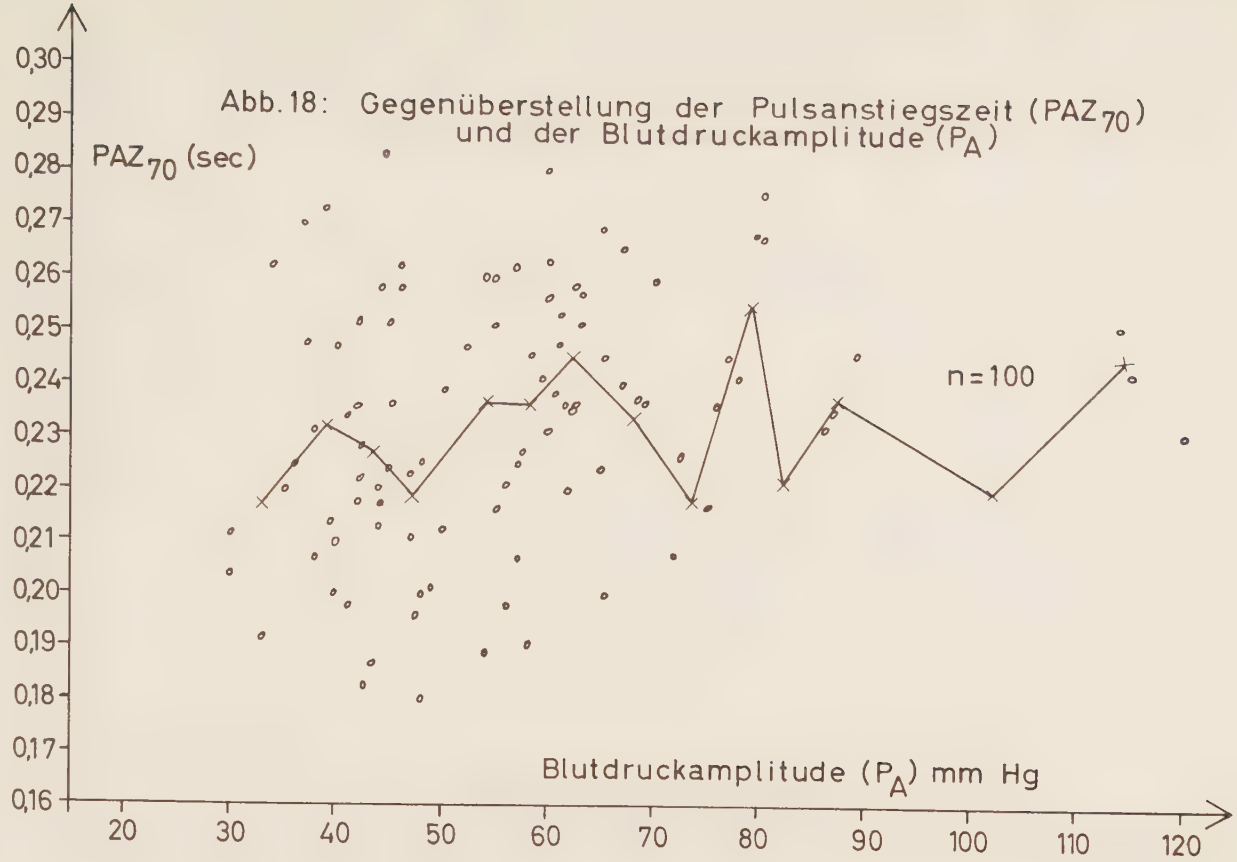


Abb. 18: Gegenüberstellung der Pulsanstiegszeit (PAZ_{70}) und der Blutdruckamplitude (P_A)
PAZ_{70} (sec)
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
n=100
Blutdruckamplitude (P_A) mm Hg
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120

Abb. 19: Gegenüberstellung der Pulsanstiegszeit und des Lebensalters

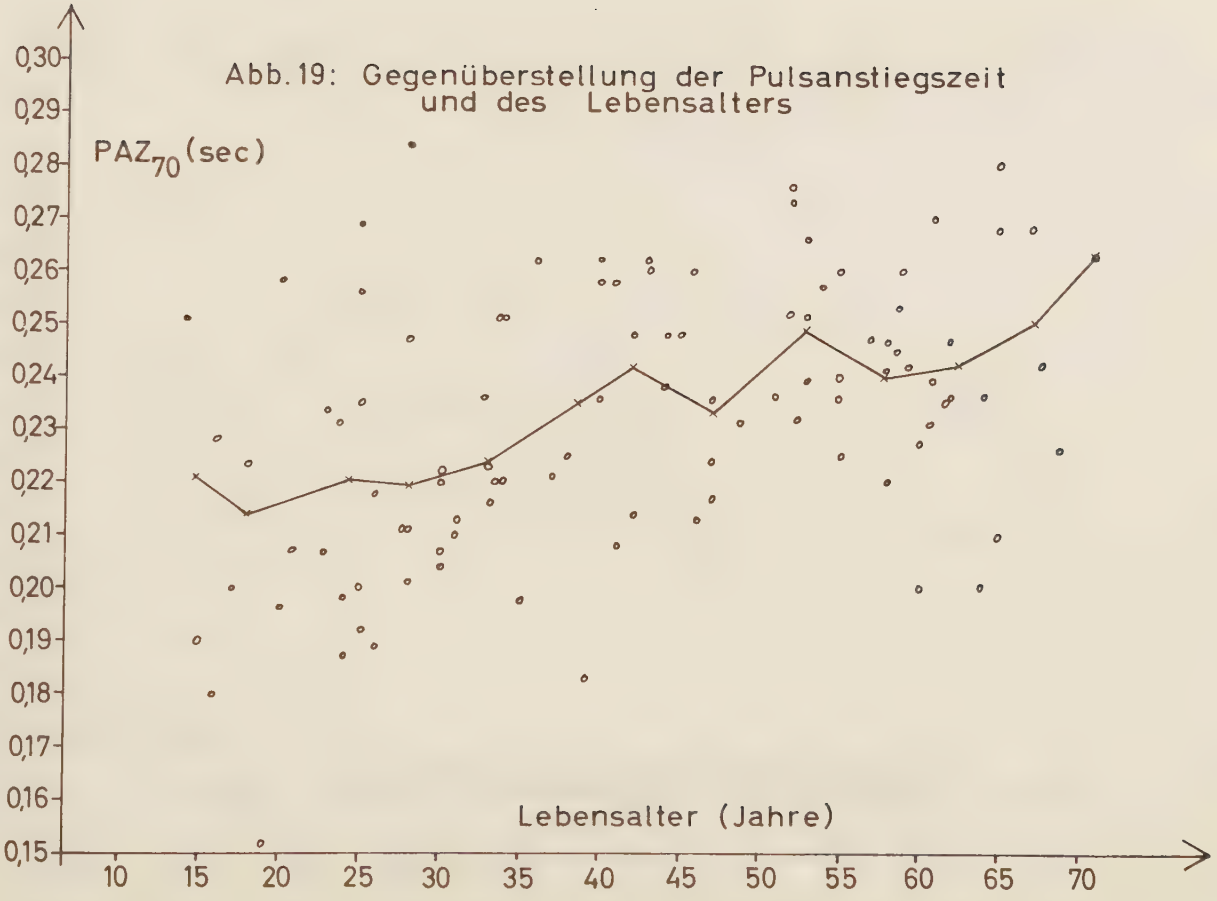


Abb. 20: Gegenüberstellung des Quotienten $\frac{h}{t_{70}}$ und der Blutdruckamplitude (P_A)

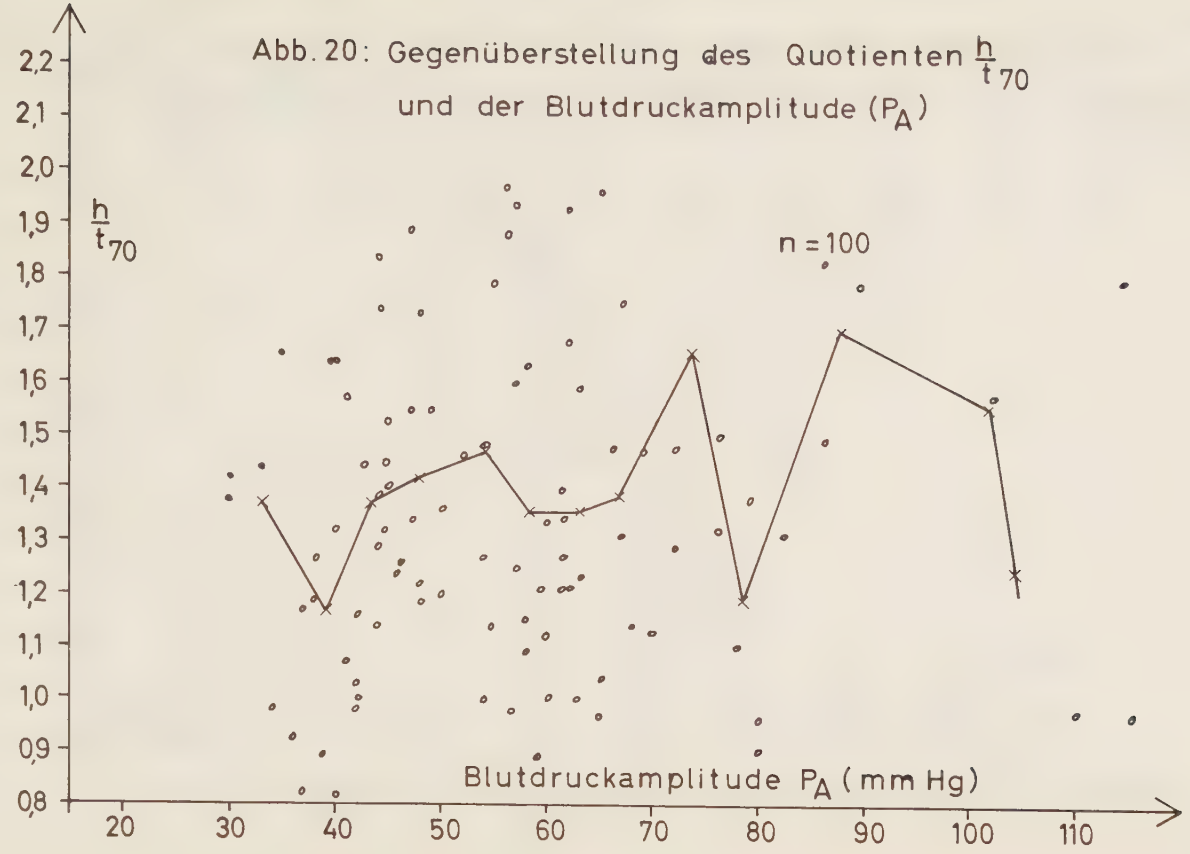


Abb. 21: Seitendifferenz der Pulsanstiegszeit PAZ_{70}

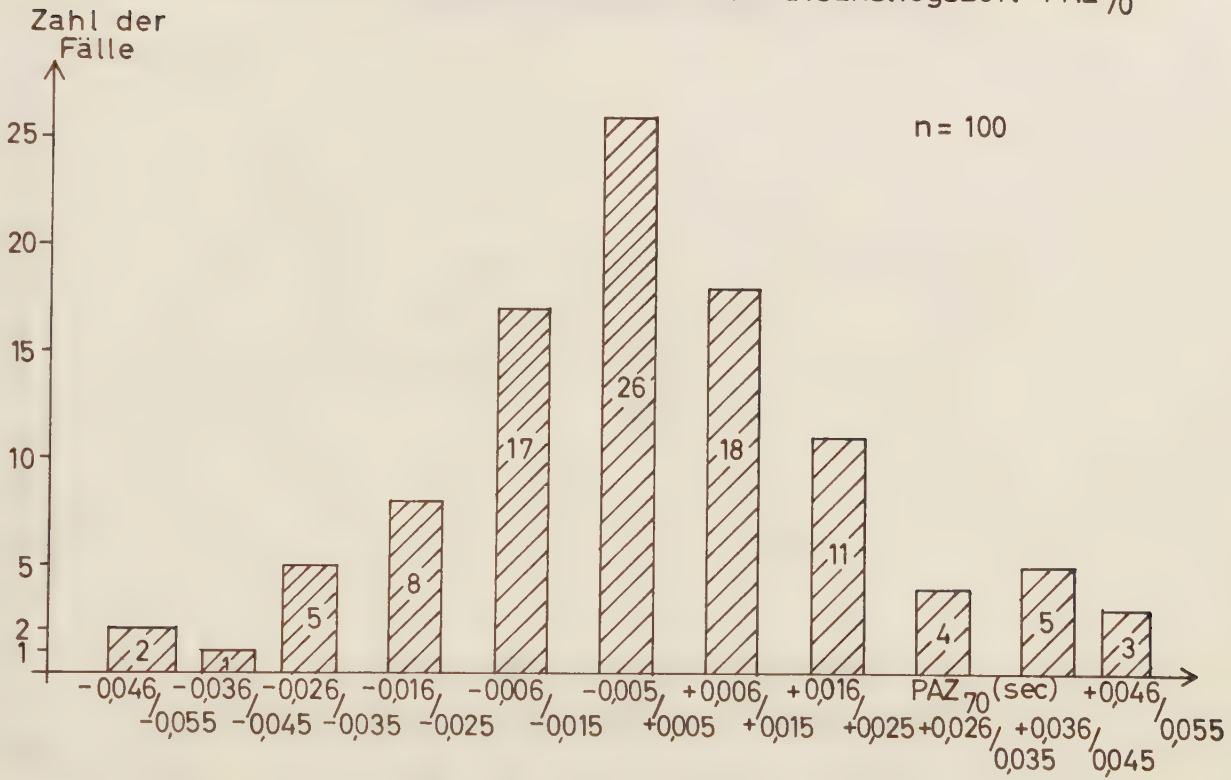
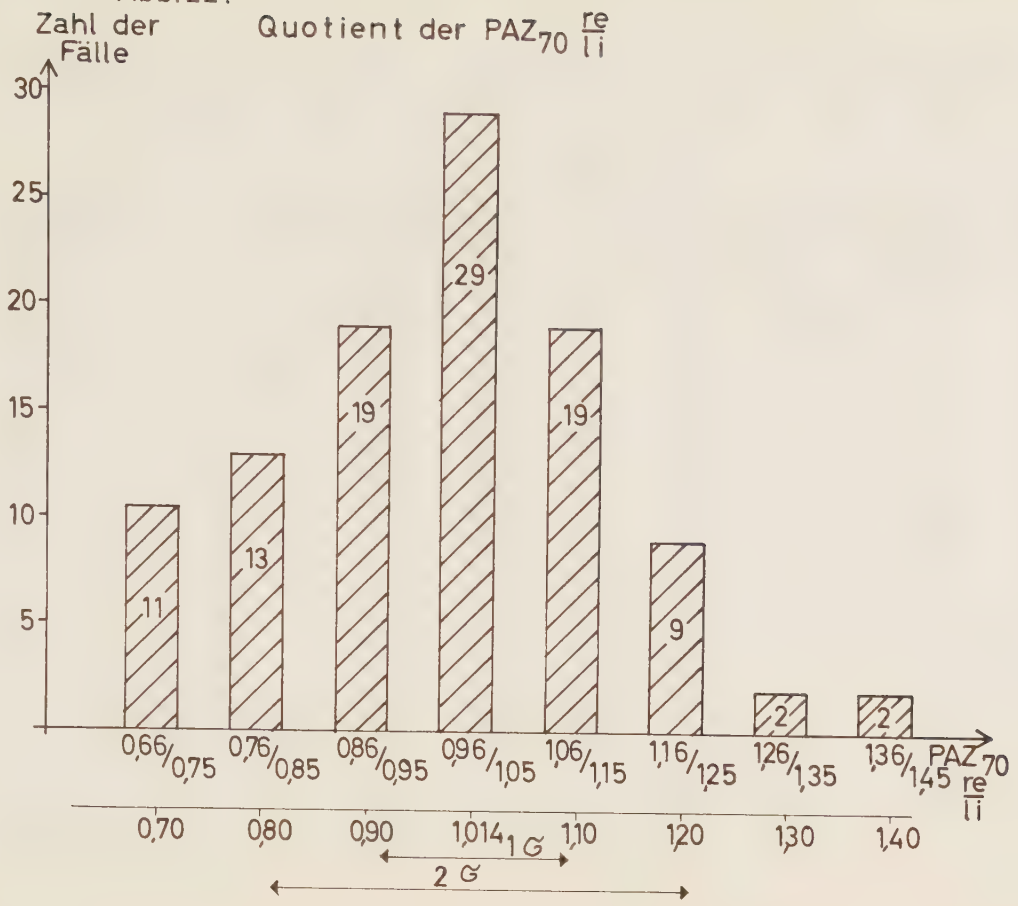
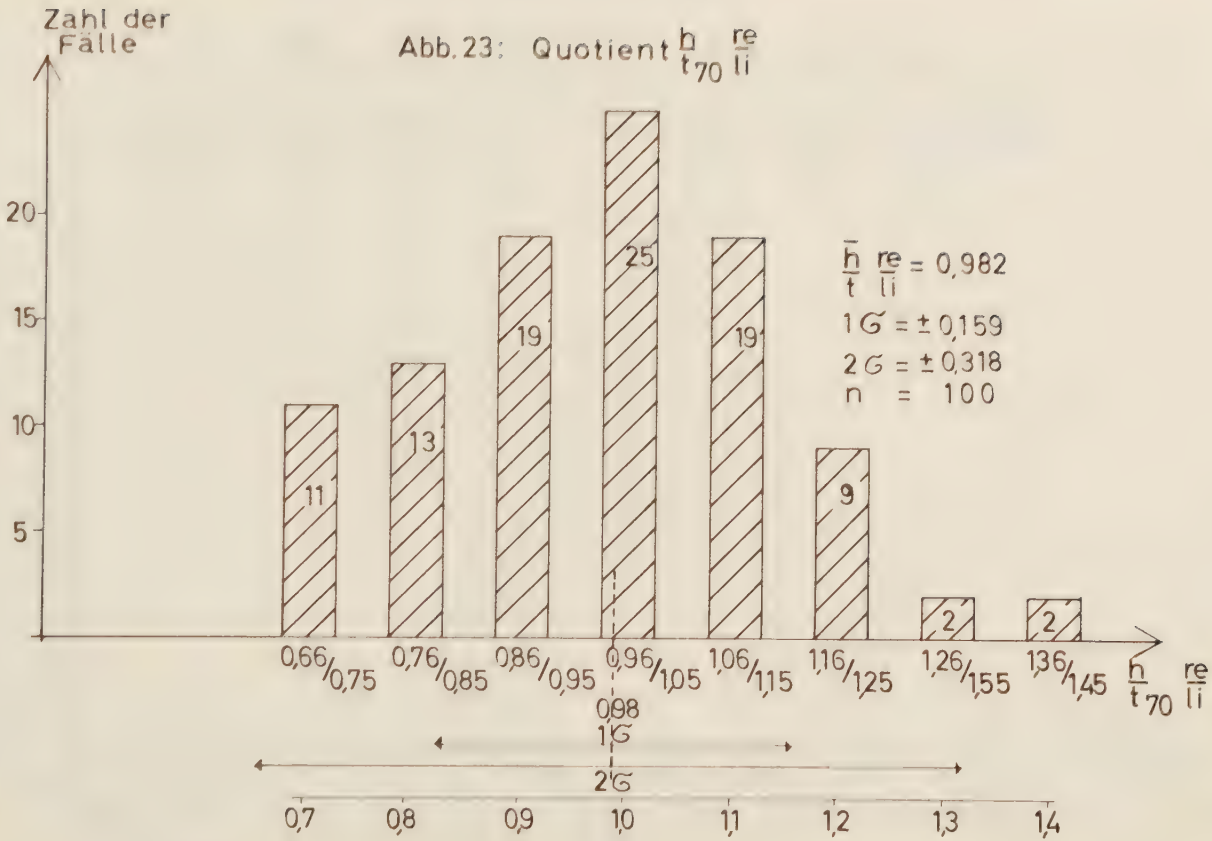


Abb. 22:


Zahl der Fälle
Quotient der PAZ70 re/li
30
25
20
15
10
5
11
13
19
29
19
9
2
2
0,66/0,75
0,76/0,85
0,86/0,95
0,96/1,05
1,06/1,15
1,16/1,25
1,26/1,35
1,36/1,45
PAZ70 re/li
0,70
0,80
0,90
1,01
1,10
1,20
1,30
1,40
1 G
2 G


Zahl der Fälle
Abb. 23: Quotient h/t70 re/li
20
15
10
5
11
13
19
25
19
9
2
2
h/t re/li = 0,982
1 G = ± 0,159
2 G = ± 0,318
n = 100
0,66/0,75
0,76/0,85
0,86/0,95
0,96/1,05
1,06/1,15
1,16/1,25
1,26/1,55
1,36/1,45
h/t70 re/li
0,98
1 G
2 G
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
1,3
1,4

Literaturverzeichnis

1) ALTMANN, R.:
Der Venenpuls. Seine graphische Registrierung, Physiologie, Pathophysiologie und klinische Bedeutung.
Berlin und München: Urban & Schwarzenberg 1956.

2) BARBEY, K., BRECHT, K. und KUTSCHA, W.:
Die Veränderungen von Temporalispulsform und Phonocardiogramm bei akuter orthostatischer Belastung.
Med. Welt 35, 1824 - 1834 (1966).

3) BARBEY, K. und BRECHT K.:
Die Gefäßoscillographie und ihre Bedeutung für die Erkennung von Durchblutungsstörungen.
In: Kreislaufmessungen. Vorträge des dritten Freiburger Colloquiums über Kreislaufmessungen am 24. und 25. März 1961 in Freiburg i. Br.
Herausgegeben von: Kraus, H.
München-Gräfelfing: Dr. Edmund Banaschewki 1961.

4) BLUMBERGER, K.:
Physio-pathologic and Diagnostic Significance of Subclavian and Carotid Pulse Tracings in Aortic Valvular Disease.
Circulation 24, 1260 (1961).

5) BOUCKE, BRECHT, K.:
Kreislaufkontrolle mit dem Infraton-Pulsabnehmer.
Tübingen: Gebr. Metz
Prospekt der Fa. Boucke.

6) BUCHER, O.:
Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen.
3. Auflage, Bern: Hans Huber 1962.

7) BURCH, G.E.:
Modern Medical Monographs 11.
Digital Plethysmography
New York: Grune & Stratton 1954.

8) FINKE, J.:
Ophthalmodynamographie in Neurologie und Psychiatrie.
Monogr. aus dem Gesamtgeb. der Neurol. und Psych.,
115, Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1966.

9) v. FREY, M.:
Die Untersuchung des Pulses.
Berlin: Julius Springer 1892.

10) GADERMANN, E. und JUNGMANN, H.:
Zur Pathophysiologie des Arterienpulses bei verschiedenen Kreislauferkrankungen.
III. Mitteilung: Der Arterienpuls bei großen zentralen Aneurysmen.
Dtschr. f. Kreislaufforschg. 46, 838-844 (1957).

11 GADERMANN, E. und JUNGMANN, H.:
Klinische Arterienpulsschreibung.
Lehrbuch und Atlas der unblutigen Sphygmographie.
München: Johann Ambrosius Barth 1964.

12) GAUER, O.H.:
Kreislauf des Blutes.
In: Lehrbuch der Physiologie des Menschen.
Herausgegeben von ROSEMANN, H.U.
28. Auflage, Berlin und München:
Urban & Schwarzenberg 1960. Band I, S. 65 - 182.

13) GRASHEY, H.:
Die Wellenbewegung elastischer Röhren und der Arterienpuls des Menschen (sphygmographisch untersucht).
Leipzig: F.C.W. Vogel 1881.

14) HAGER, H. und HORCH, G.:
Die Beziehungen zwischen dem dynamographisch gemessenen Ophthalmicadruck und dem synchron registrierten Brachialisdruck.
Ber. Dtsch. Ophthalm. Ges. Heidelberg 65, 367-371 (1963).

15) HAGER, H.:
Untersuchung des Gehirnkreislaufs durch die Ophthalmodynamographie.
Med. Welt 18, 995-1004 (1963).

16) Ders.:
Die Änderung der Pulsform bei degenerativen Gefäßerkrankungen.
Ber. Dtsch. Ophthalm. Ges. Heidelberg 61, 207-214 (1957).

17) Ders.:
Zur Diagnose der Carotisthrombose.
Vergleichende Untersuchungen mit dem Federdruckdynamometer und der elektrischen Dynamometrie (Dynamographie).
Ber. Dtsch. Ophthalm. Ges. Heidelberg 62, 141-145 (1959).

18) Ders.:
Die Bedeutung des Bulbus-Orbitapulses (Ophthalmo-Dynamographie) im Bereich der Karotiden und des Aortenbogens.
Verh. deutsch. Ges. Kreisl. Forsch. 29. Tagg., 212-217 (1963).

19) Ders.:
Differentialdiagnose des Schlaganfalles durch die Ophthalmodynamographie.
Triangel VI, 7, 259-267 (1964).

20) JUNGMANN, H. und ERDMANN, W.D.:
Über den Puls in sklerotischen Arterien.
Ztschr. f. Kreislaufforschg. 45, 252-258 (1956).

21) KLIP, W.:
Velocity and Damping of "The Pulse Wave".
The Hague: M. Nijhoff 1962.

22) v. KRIES, J.:
Studien zur Pulslehre.
Freiburg i. Br.: J.C.B. Mohr 1892.

23) KROEKER, E.J. und WOOD, E.H.:
Comparison of Simultaneously Recorded Central and Peripheral Arterial Pressure Pulses During Rest, Exercise and Tilted Position in Man.
Circulation Research 3, 623-632 (1955).

24) MANSFELD, G.:
Wissenschaftliche Jugendkunde, Heft 11.
Blutdruck und Puls im Schulalter.
München: Johann Ambrosius Barth 1965.

25) MOENS, A.J.:
Die Pulskurve.
Leiden: E. J. Brill 1878.

26) MORET, P.R. und MÜLLER, A.:
Arterien-Elastizität.
In: Die Arterienwand: Biochemie und Elastizität.
Koronarographie (Seite 37-100).
Bibliotheca Cardiologica, Fasc. 15
Basel-New York: S. Karger 1964.

27) v. RECKLINGHAUSEN, H.:
Blutdruckmessung und Kreislauf in den Arterien des Menschen.
Dresden und Leipzig: Th. Steinkopff 1940.

28) REINDEL, H., KÖNIG, K. und ROSKAMM, H.:
Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.
Stuttgart: Thieme 1967

29) SEITZ, H.D.:
Normwerte und Seitendifferenzen des Pulsationsvolumens der A. ophthalmica bei Normotonikern und Hypotonikern.
Diss. Universität Tübingen 1964.

30) VASTOLA, E.F. and KOKUBA:
Use of Bayes' Theorem in Ophthalmodynamometrie.
Circulation 26, 1312-1315 (1962)

31) WEBER, E.:
Grundriß der Biologischen Statistik.
Jena: VEB Gustav Fischer 1957.

Lebenslauf

Am 31. 3. 1943 wurde ich, Hans Peter Knaus, als Sohn des Wilhelm Knaus, Rektor an der Hauptschule in Dornhan, und seiner Ehefrau Erne, geb. Reichle in Sulz a.N. geboren.

Von 1949 bis 1953 besuchte ich Volksschule und anschließend 4 Jahre lang das Progymnasium in Dornhan. 1957 setzte ich meine Schulbildung an dem Keplergymnasium in Freudenstadt fort, wo ich am 24. März 1962 die Reifeprüfung bestand. Im Frühjahr 1962 begann ich das Studium der Medizin an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen und legte dort am 26. März 1965 die ärztliche Vorprüfung ab. Anschließend studierte ich noch ein Semester in Tübingen. Das zweite klinische Semester absolvierte ich an der Innsbrucker Universität. Seit dem Sommersemester 1966 war ich wieder in Tübingen immatrikuliert, wo ich am 14. Februar 1969 das medizinische Staatsexamen bestand.